

УДК 552.32

ВЫСОКОСИДЕРОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ И РЕНИЙ, ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ СТЕКОЛ КРАТЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА, РОССИЯ)

© 2012 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно, Р. Ш. Крымский

Поступило 04.05.2012 г.

Проблема происхождения стекол кратера Эльгыгытгын обсуждается уже на протяжении нескольких десятилетий с разных позиций — космического удара или эндогенного взрыва огромной мощности (см. [1–3] и др.). Решение этой проблемы требует достаточно весомых аргументов. На сегодняшний день аргументы и факты, которые были выявлены на основе геологических и петрологических данных, не дают однозначного решения, имеют двойственный характер. Находки минералов в стеклах с планарными структурами, а тем более высокобарических фаз кремнезема предполагают их происхождение с ударом космического тела — метеорита (см., например, [1] и др.). Но детальные геологические и петролого-геохимические и изотопные исследования, а также изотопное датирование (U–Pb SHRIMP методом) по цирконам и изохронные Re–Os-определения возраста показывают неоднородность (мгновенность) генерации расплавов в форме импактных стекол, извергнутых при взрыве [4], что позволяет считать происхождение кратера Эльгыгытгын и “импактных стекол” производными специфического импактогенного вулканизма, связанного со взрывом газов (водорода, тяжелых углеводородов), поступающих из внешнего ядра Земли (см. [2, 3, 5, 6] и др.). Для доказательства эндогенного генезиса кратера Эльгыгытгын и его стекол возникает необходимость поиска более надежных критериев. Одним из таких является обнаружение метеоритного вещества в значительных количествах и прежде всего элементов платиновой группы (ЭПГ).

Использование ЭПГ для диагностики присутствия внеземного вещества в земных породах основано на существенной (на четыре–пять и более

порядков) разнице в концентрациях этих элементов между породами внешней оболочки Земли и космических объектов [7]. Считается, что за счет дифференциации вещества на стадии аккреции планеты и последующего формирования внешних оболочек Земли платиноиды были сконцентрированы в ядре планеты, а силикатная оболочка была резко обеднена этими элементами [8]. Экспериментальные работы по формированию ЭПГ в процессах плавления полностью подтверждают это предположение, свидетельствуя о высоких коэффициентах распределения ЭПГ в системах силикат–металлическая фаза [8].

Впадина Эльгыгытгын, в которой находится кратер, заполненный водой, расположена в центре Верхне-Анадырского поднятия, сложенного комплексом вулканических пород позднемиоценового возраста. Впадина окружена цепью гор с превышением над днищем более 400 м. Кратер, который несколько смещен к востоку от кольцевого горного обрамления, имеет изометричную форму диаметром 12–14 км, глубину около 175 м с крутыми до 45°–50° подводными склонами (рис. 1). Он заполнен осадками позднеплиоцен-голоценового возраста и мощной пачкой вулкано-брекчий вулканических пород, слагающих внешние и внутренние склоны впадины. Бурение, проведенное в центре впадины весной 2009 г., вскрыло весь комплекс осадочных и вулканокластических пород, но не обнаружило стекловатых образований (тагамиты) в придонных горизонтах, как это свойственно импактным структурам космического происхождения [1]. Стекловатые брекчии, бомбы, стекла, относимые ранее к импактитам, были обнаружены на внутренних и внешних склонах впадины Эльгыгытгын, а также в плиоценовых осадках (в 22–25 км) за ее пределами [3]. Все обломки были отобраны для изучения, проведен комплекс петролого-геохимических, изотопно-геохронологических и др. исследований [3, 4], в том числе определение изотопных отношений $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ и изохронное Re–Os-датирование стекол кратера и вулканических пород вулка-

Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

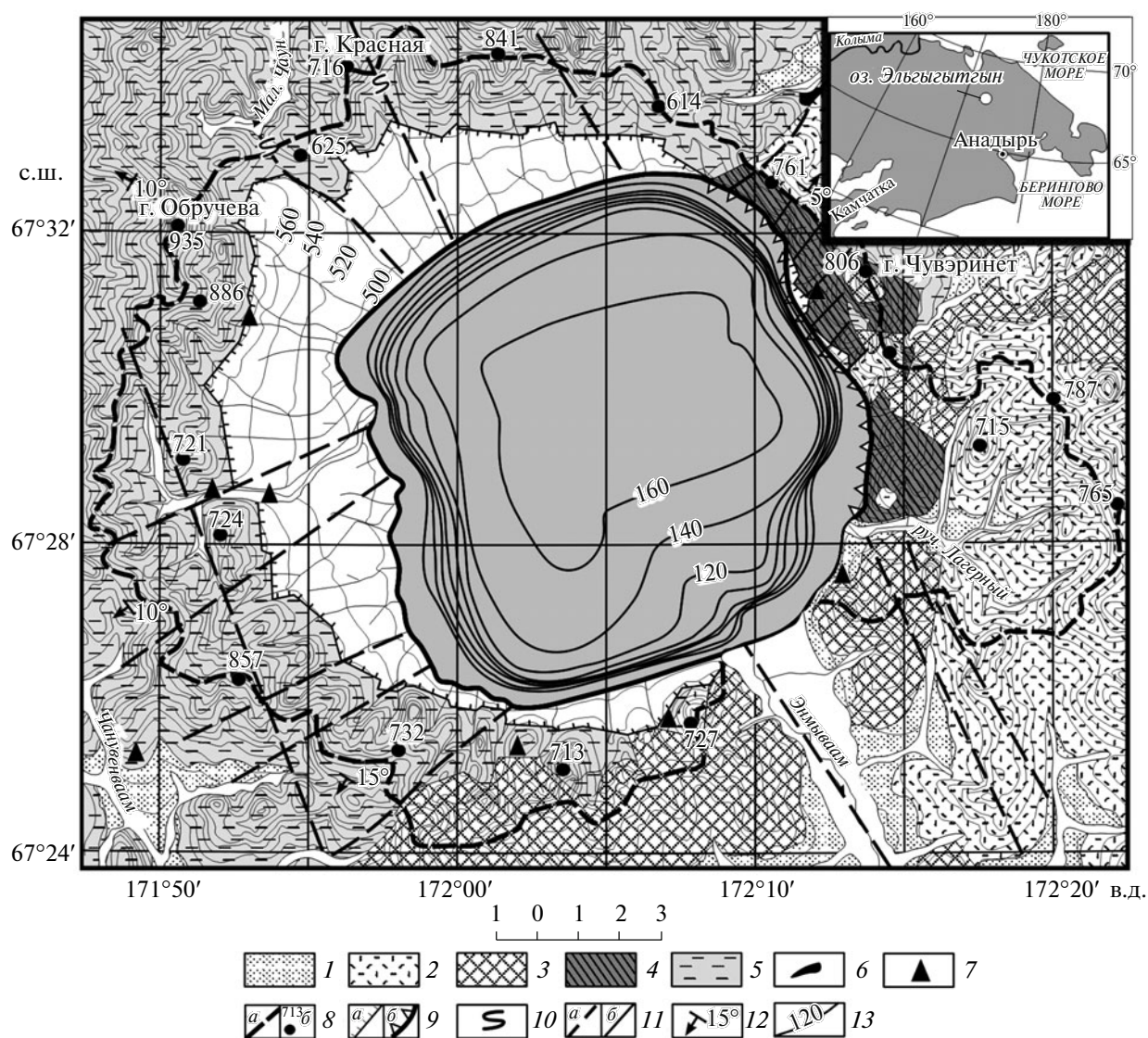


Рис. 1. Схема геологического строения кратера Эльгыгытгын (с использованием материалов [3, 4] и др.). 1 – поймы речных долин; 2 – эргываамская свита; 3 – коэжваунская свита; 4 – воронинская свита; 5 – пыкарваамская свита; 6 – штоки, силы, дайки основных субвулканических пород; 7 – находки стекол (брекчии, бомбочки и др.); 8 – водоразделы рек Северного Ледовитого и Тихого океанов (а), основные вершины (б); 9 – граница дна впадины: перекрытые делювиальными речными отложениями (а) и скальные обрывы (б); 10 – перехваты речных долин (на северном водоразделе); 11 – разломы: трансрегиональные (а), локального типа (зоны смещения, сбросы и т.д.) (б); 12 – направление и угол наклона покровов в игнимбритовых толщах на внешней стороне горного обрамления впадины; 13 – изогипсы глубины озера.

нического основания [4]. В данном сообщении приводятся результаты определений ЭПГ и рения.

Содержание ЭПГ и рения в образцах силикатных пород определяли методом изотопного разбавления, разработанного в лаборатории Центра изотопных исследований ВСЕГЕИ [9], с использованием методик, описанных в работах [10, 11] и др.

Измерения изотопных составов и определение концентраций ЭПГ и рения производили на одноканальном масс-спектрометре с индуктивно-

связанной плазмой ICP-MS ELEMENT-2 (Thermo). Изотопное соотношение измеряли на умножителе в динамическом режиме при подаче пробы в виде раствора 3% HNO₃ с помощью кварцевого небулейзера и процедур, необходимых для измерений концентрации всех элементов и изотопных отношений [9]. Изотопный состав осмия измерялся на твердофазном мультиколлекторном масс-спектрометре высокого разрешения Triton (Thermo) в условиях необходимых процедур и температур. Для стандартизации условий во вре-

Таблица 1. Концентрации высокосидерофильных элементов и рения (ppb) и отношений изотопов осмия в представительных породах кратера Эльгыгытгын (Центральная Чукотка, Россия)

Образец	Os	Ir	Ru	Pt	Pd	Re	¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os**
О-1454/1в – шлаковая стекловатая риодацитовая брекчия	0.0010	0.0054	0.1641	0.2770	0.2874	0.2426	0.41434 ± 51
О-1454/1а – стекло с обломками пород (брекчия)	0.0009	0.0033	0.4006	0.4003	0.2679	0.3025	0.50010 ± 91
О-1454/2ж – пористый шлаковый риодацит	0.0121	0.0439	0.3188	0.5551	0.2161	0.2640	0.18170 ± 65
О-1454/4 – риолит, фундамент	0.0018	0.0146	0.4144	0.4758	1.3989	0.1016	0.37757 ± 64
О-1454/5 – плотное стекло (бомба)	0.0043	0.1815	0.7210	0.3694	1.8482	0.3400	0.34994 ± 65
О-1454/2а – слабопористое стекло	0.0411	0.1672	0.6643	0.3643	0.8155	0.5330	0.16754 ± 39
О-1454/7 – плотное стекло (бомба)	0.0228	0.0120	0.5875	0.2239	1.4736	0.8699	0.29915 ± 74
Бланк	0.0002	0.0013	0.0835	0.0266	0.1602	0.0700	–
Chondrite C 1*	486	459	714	994	556	38.3	0.1283 ± 17
0.1283 ± PUM*	3.90	3.50	7.00	7.600	7.10	0.350	0.1286 ± 8

Примечание. * [15]; ** [4].

Таблица 2. Соотношения элементов ЭПГ и Re в представительных стеклах кратера Эльгыгытгын и вулканитах фундамента

Образец	Os/Ru	Pt/Ir	Pt/Ru	Os/Ir	Re/Os	Ru/Pd	Pd/Ir	Pt/Os	Pd/Os	Ru/Os	Re/Ir	Ru/Ir
C-1	0.68	2.17	1.39	1.06	0.08	1.28	1.21	2.06	1.14	1.47	0.08	1.56
PUM	0.56	2.17	1.10	1.11	0.09	0.99	2.03	1.95	1.82	1.79	0.10	2.00
1454/1в	0.006	57.3	1.69	0.18	242.6	0.57	53.2	277.0	287.4	164.1	44.9	30.4
1454/1а	0.002	121.3	1.00	0.27	336.1	1.49	81.18	444.8	297.7	445.1	91.7	121.1
1454/2ж	0.04	12.6	1.74	0.28	21.8	1.48	4.92	45.9	17.5	26.30	6.10	7.26
1454/4	0.004	32.6	1.15	0.12	56.4	0.30	95.8	264.33	777.2	230.2	8.96	28.4
1454/5	0.06	2.04	0.51	0.02	79.1	0.39	10.18	85.9	429.8	167.7	1.87	3.97
1454/2а	0.06	2.19	0.55	0.24	13.0	0.81	4.90	8.86	19.8	16.60	3.20	3.97
1454/7	0.39	18.66	9.82	1.90	38.1	0.40	122.8	9.80	64.6	25.75	72.5	48.9

мя аналитической сессии измеряли лабораторный стандарт Mainz с изотопным соотношением ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 0.106902 ± 0.000017. Средневзвешенные значения стандарта перидотита UB-N [12] составили: Re – 0.222 ± 0.006 ppb; Os – 3.65 ± 0.12 ppb; ¹⁸⁷Re/¹⁸⁸Os – 0.2929 ± 0.0097; ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os – 0.1271 ± ± 0.00016. Общие химические бланки (холостой опыт) данной аналитической процедуры также измеряли на ICP-MS ELEMENT-2. Результаты этих определений по образцам импактных стекол и одному образцу вмещающих вулканических пород (О-1454/4 – игнимбриит риолита воронинской свиты) представлены в табл. 1.

Изученные образцы стекол кратера и вмещающие вулканиты характеризуются предельно низкими концентрациями ЭПГ, в целом типичными для коровых пород Земли ($n \cdot 10^{-11}$). Более того, относительная концентрация ЭПГ на графике хондрит (С 1) нормализованных оценок имеет

сильно фракционированный характер для всех изученных образцов с последовательным возрастанием в ряду Os–Ir–Ru–Pd–Re. Отмечается наиболее сильный разброс в Ir-группе (рис. 2а). При этом различные метеориты имеют, как правило, плоский характер распределения ЭПГ на таких графиках. На рис. 2б показаны концентрации элементов, нормализованных к примитивной верхней мантии (PUM), где общая картина разброса сохраняется, но относительная оценка всех элементов на несколько порядков выше, чем это свойственно для нормализованных оценок по хондриту. Характер разброса ЭПГ в стеклах кратера Эльгыгытгын и степень их распределения в различных фациальных и возрастных группах, представленных в нормализованных графиках (хондриту и PUM), наиболее показательны при анализе соотношения этих элементов (табл. 2).

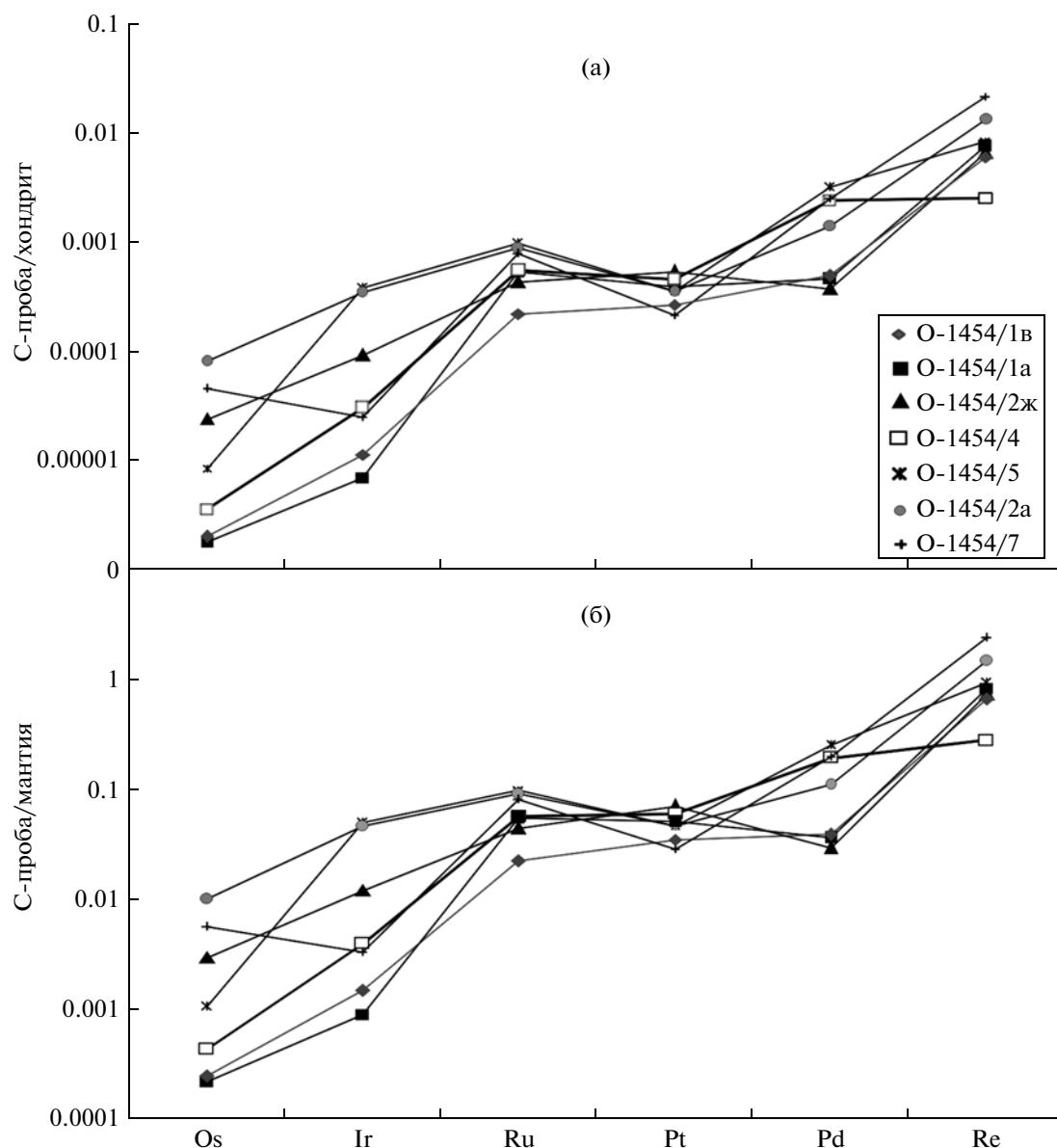


Рис. 2. Диаграммы: а – концентрации элементов, нормализованные по хондриту (C1); б – концентрации элементов, нормализованные по примитивной верхней мантии (PUM). Номера проб соответствуют данным табл. 1.

Так, на основе изохронного Re–Os-метода определения возраста [4] среди стекол кратера выделяется две возрастных группы: наиболее ранняя (~31.5 млн лет – обр. O-1454/2а, O-1454/2ж, O-1454/5) и более поздняя (13.5–14.0 млн лет – обр. 1454/1а, 1454/1в), генерация которых проходила на различных глубинных уровнях и из разных протолитов, что отражается как в составе REE, микроэлементов, так и в концентрациях ЭПГ и их соотношениях, а также $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ (табл. 1, 2). Наиболее малоглубинная соответствует уровню генерации игнибритов воронинской свиты, более древние – уровню генерации глубоководных пород фундамента (ранний,

средний палеозой), согласно данным U–Pb-цирконометрии [4]. Для малоглубинных свойственны особенно низкие содержания осмия, иридия, но высокие $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ и, соответственно, радиогенного осмия, что согласуется с данными по вулканитам фундамента (обр. O-1454/4). Для стекол с возрастом 31.5–34.0 млн лет характерны более высокие концентрации осмия, иридия и других элементов ЭПГ. Для них отмечаются и наиболее низкие $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ (табл. 1, 2; рис. 3). Особое внимание заслуживает стекловатые бомбы (обр. – 1454/5 и O-1454/7). Для последней характерны высокие концентрации Os, Ru, Pd, Re, но сравнительно низкие содержания Ir и Pt и отношения

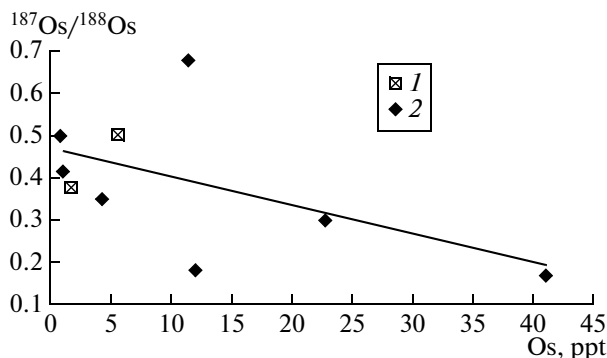


Рис. 3. Диаграммы соотношений $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ —Os в стекловатых брекчиях и бомбах кратера Эльгыгытгын и вулканических породах основания впадины [4]. 1 — вулканические породы: О-1391/5 — пыкарваамская свита, О-1454/4 — воронинская свита; 2 — бомбы и брекчии кратера Эльгыгытгын. Номера проб соответствуют табл. 1.

изотопов $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$. По этим данным стекловатая бомба занимает промежуточное положение между породами ранних и поздних (более молодых) этапов генезиса расплавов. Относительно повышенные содержания рения в изученных образцах свидетельствуют в пользу происхождения их за счет плавления коровых пород, обогащенных рением, или молодой необедненной процессами плавления примитивной мантии. Отсутствие существенных различий в распределении ЭПГ между образцами в каждой группе и вмещающих вулканитов также говорит об образовании этих расплавов в большей степени за счет пород фундамента (протолита). Необходимо отметить относительное обогащение ряда образцов рутением, что не является типичным для коровых пород, но в данном случае повышенные концентрации, свойственные и вулканитам фундамента, могут указывать на специфические условия фракционирования ЭПГ в процессе образования как пород (стекло и брекчий) кратера, так и более ранних вулканитов, слагающих фундамент. Возможно, такое фракционирование связано с флюидной фазой при проявлении эксплозивного вулканизма, а также уникального состава верхней мантии. Следует отметить, что регион, в котором проявился вулканизм взрывного типа, сформировавший кратер Эльгыгытгын, располагается в пределах обширного Северо-Азиатского плюма, маг-

матические проявления которого были неоднородны в мезозое и кайнозое [3, 13].

В заключение следует добавить, что отсутствует линейная корреляция ЭПГ с кобальтом, никелем и хромом, а также в парных корреляциях между кобальтом и никелем, никелем и хромом [4]. Это и приведенные выше данные по ЭПГ говорят об отсутствии контаминации пород кратера Эльгыгытгын взвешиваемым веществом. Наличие же линейных зависимостей в таких парных корреляциях позволяет достоверно определить присутствие взвешиваемого вещества даже при его относительно низкой концентрации [14].

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН, ОНЗ РАН и Президиума ДВО РАН, проект 12–1–П4–02.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Импаكتиты / Под ред. А.А. Маракушева. М.: Изд-во МГУ, 1981. 240 с.
2. *Sakhno V.G.* // J. Confer. EUG-10. Abstr. 1999. V. 008:4k/12:H2. P. 778.
3. *Белый В.Ф.* // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 36–55.
4. *Сахно В.Г., Крымский З.Ш., Глушкова О.Ю.* // ДАН. 2011. Т. 441. № 6. С. 780–787.
5. *Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Н. и др.* // Петрология. 1993. Т. 1. № 6. С. 571–595.
6. *Карпов И.К., Зубков В.С., Бычинский В.А., Артеменко М.В.* // Геология и геофизика. 1998. № 6. С. 754–762.
7. *Koerberl C.* Treatise of Geochemistry. N.Y. (NY): Elsevier, 2007. P. 1.28.1–1.28.52.
8. *Carlson R.* // Lithos. 2005. V. 82. P. 249–272.
9. *Крымский П.Ш., Сергеев Д.С., Брюгманн Г.Э. и др.* // Региональная геология и металлогения. 2011. № 46. С. 51–60.
10. *Paliulionyte V., Meisel Th., Rammingner P., Kettisch P.* // Geostandards and Geoanal. Res. 2006. V. 30. P. 87–96.
11. *Birck J.L., Barman M.R., Capmas F.* // Geostandards Newlett. 1997. V. 20. P. 19–27.
12. *Meisel T., Reisberg L., Mosez I., et al.* // Chem. Geol. 2003. V. 201. P. 161–179.
13. *Грачев А.Ф.* // Физика Земли. 1999. № 9. С. 19–37.
14. *Tagle R., Hecht L.* // Meteoritics and Planet. Sci. 2006. V. 41. № 11. P. 1721–1735.
15. *Becker H., Horan M.F., Wallker R.J., et al.* // Geochim. et cosmochim. acta. 2006. V. 70. P. 4528–4550.