

УДК 552.32

ИМПАКТИТЫ КРАТЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН: ИЗОТОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ U–Pb-(SHRIMP)- И Re–Os-МЕТОДАМИ. ОСОБЕННОСТИ ИХ МИКРО- И РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СОСТАВА И ИЗОТОПИИ $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧУКОТКА, РОССИЯ)

© 2011 г. Член-корреспондент РАН В. Г. Сахно, Р. Ш. Крымский, О. Ю. Глушкова

Поступило 23.08.2011 г.

Находки импактитов и импактных стекол во взрывных структурах Земли привлекают внимание исследователей в связи со спецификой их образования. Существует общепринятое представление об импактитах как о породах, образование которых связано с ударным метаморфизмом, возникающим при падении космических тел на поверхность Земли. А находки в них высокобарических фаз кремнезема большинством исследователей однозначно объясняются их космическим происхождением. Такими структурами (астроблемами), в которых найдены импактиты и импактные брекчии, принято считать Попигайскую, Жаманшин, Карскую и другие. К ним отнесен кратер оз. Эльгыгытгын [1, 2]. Существуют и иные представления – на основе петролого-геохимических и геологических данных предполагают, что такие “астроблемы” имеют эндогенное происхождение [3–5].

Озерная впадина Эльгыгытгын расположена в центральной части Верхне-Анадырского нагорья, представляющего собой мегаструктуру, сложенную мел-палеогеновыми вулканическими комплексами риолит-дацитового, андезитового и андезит-базальтового состава, среди которых доминируют кислые вулканы, главным образом пирокластические образования игнимбритов общей мощностью более 3 км. Центральная часть мегаструктуры представлена купольным поднятием с периклинальным залеганием пород комплексов (рис. 1) [6], с небольшими углами по периферии ($\sim 5^\circ\text{--}7^\circ$) и более крутыми ближе к центру (до

$10^\circ\text{--}15^\circ$). Мегаструктура разбита на радиальные дуговые разломы, кроме того она пересекается трансрегиональными разломами северо-восточного и северо-западного направлений, по которым произошли вертикальные перемещения.

Впадина, в которой расположен кратер, имеет изометричную форму диаметром около 17 км. Она окружена цепью гор с превышением над дном более 400 м. В центре впадины, несколько смещенной на восток, располагается кратер. Его диаметр 12–14 км, а глубина 175 м с крутыми (до $45^\circ\text{--}50^\circ$) подводными склонами на севере, западе и востоке и более пологими на юго-востоке (рис. 1). На внутренних и внешних склонах впадины обнажается большая часть разрезов пирокластических образований. Импактиты, импактитовые брекчии и бомбы встречаются на склонах впадины и за ее пределами [4]. Они представлены стеклами (бомбы, обломки стекла), шлаками, пемзами. Были обнаружены брекчии импактитов с большим количеством обломков вмещающих пород: базальтов, кислых вулкаников, слагающих склоны и основание впадины. Для брекчий характерны следы обтекания (флюидная структура) стекла вокруг обломков. Среди обломков импактитов широко развиты шлаковые, пемзовые и пузырьчатые стекла, а также плотные стекловатые бомбочки. Размер пузырей колеблется от долей миллиметра до 1–2 см и более.

Нами проведено комплексное изучение импактитов (брекчии, стекла, шлаки и пемзы), которые были обнаружены во впадине Эльгыгытгын и за ее пределами, и вмещающих вулкаников. Химический и геохимический состав стекол импактитов, а также меловых вулкаников, слагающих склоны впадины, представлен в табл. 1. Сопоставления стекол импактитов с породами впадины (туфы игнимбритов пыкарваамской, воронинской и эргываамской свит) показывают их различия. Импактитовые породы имеют дацитовый и дацито-риолитовый состав с небольшими колебаниями по кремнезему, глинозему, кальцию и магнию. Соотношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ близки к 1 с неко-

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

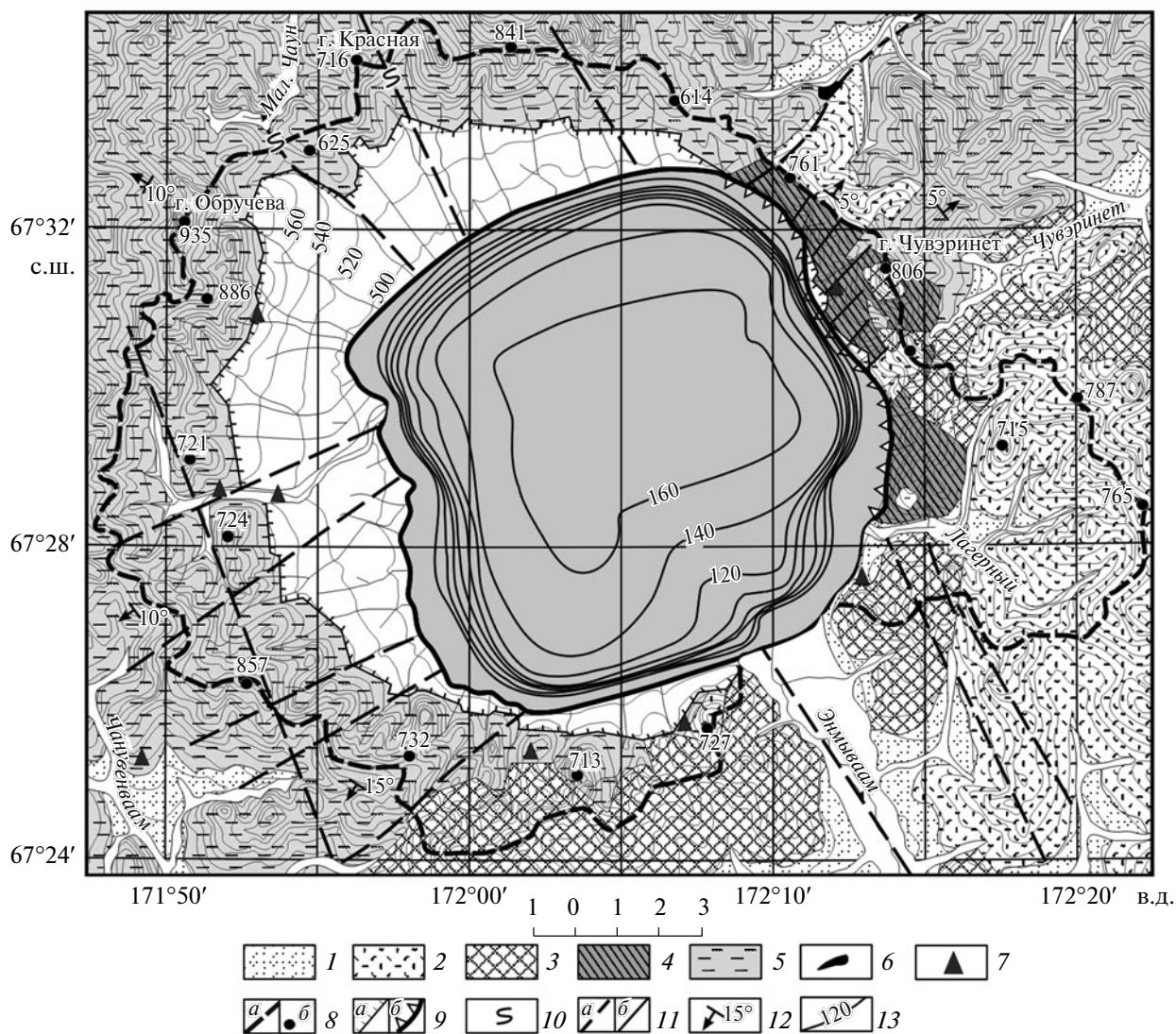


Рис. 1. Схема геологического строения кратера Эльгыгытгын по [4, 6 и др.] с добавлениями авторов. 1 – поймы речных долин; 2 – эргываамская свита; 3 – коэкувунская свита; 4 – воронинская свита; 5 – пыкарваамская свита; 6 – штоки, силы, дайки основных субвулканических пород; 7 – находки импактных пород (брекчии, бомбочки и др.); 8 – водоразделы рек Ледовитого и Тихого океанов (а) и основные вершины (б); 9 – границы днища впадины: перекрытые делювиальными речными отложениями (а) и скальные обрывы (б); 10 – перехваты речных долин (на северном водоразделе); 11 – разломы: трансрегиональные (а), локальные (зоны смещения, сбросы и т.д.) (б); 12 – направление и угол наклона покровов игнимбритовых толщ на внешней стороне горного обрамления впадины; 13 – изогипсы глубины (м).

торым преобладанием K_2O . Соотношения двух- и трехвалентного железа в большинстве случаев показывают преобладание закисного над окисным, хотя есть и обратные отношения, что не свойственно импактным породам [2, 7]. Наиболее высокие отношения характерны для “бомб”, сложенных плотным стеклом.

Микроэлементный и редкоземельный составы импактитов кратера Эльгыгытгын также отличаются от пород “мишени” (рис. 2) как по уровню концентраций, так и соотношениям элементов. Среди импактитов отмечаются существенные колебания отношений Ni/Co , Ba/Nb , Ba/La . Наи-

большие колебания микро- и редкоземельных элементов характерны для пемзовых и шлаковых разностей (табл. 1). Определения возраста К–Аг-методом, проведенные по девяти пробам, колеблются в небольшом интервале (табл. 2), что позволяет считать (по средневзвешенным значениям) возраст равным 3.60 млн лет, что совпадает с определением по Аг–Аг-методу П. Лейера [8].

Определение возраста импактных стекол U–Pb (SHRIMP)-методом по цирконам (обр. O-1454/1a) дает возраст 86.79 ± 0.72 млн лет. Полученные датировки импактных стекол отличаются от U–Pb-да-

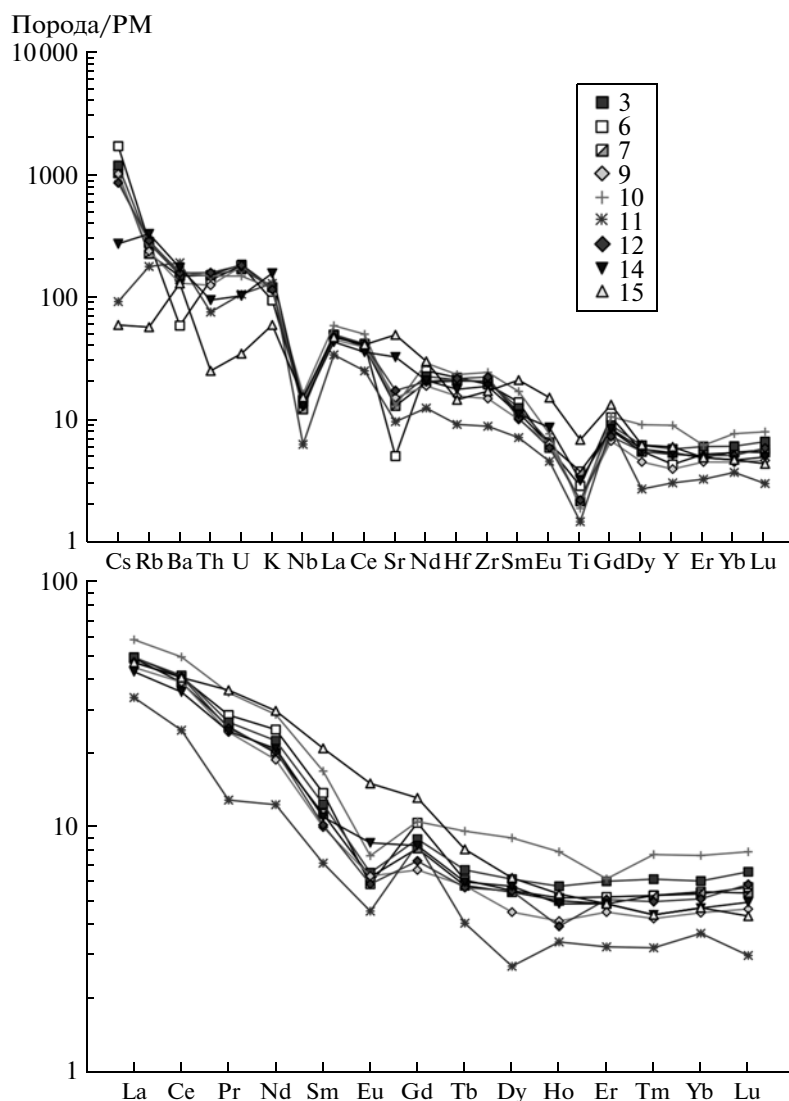


Рис. 2. Мультикомпонентные диаграммы распределения микро- и редкоземельных элементов в вулканических породах и стеклах импактитов кальдеры Эльгыгытгын, нормированных к примитивной мантии. Номера анализов соответствуют табл. 1.

тировок вулканитов, слагающих Анадырско-Энмываамское поднятие [9] (рис. 3).

В пробе стекла (обр. О-1454/1д) обнаружены ксеногенные цирконы, представленные двумя возрастными конкордантными выборками (рис. 3). Это позволяет сделать вывод, что “импактные” стекла являются производными плавления протолита ранне-среднепалеозойского и пермского возраста, которые здесь не обнажаются, но известны в складчатом основании западнее [4].

Для решения вопроса о возможном вкладе космического материала в генезис импактных стекол в них, а также в породах “мишени” были проведены определения отношений изотопов $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ и $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ (табл. 3, рис. 4). Опреде-

лен возраст на основе Re–Os-изохроны по 7 стеклам и 2 пробам пород основания.

Содержания рения и осмия определяли методом изотопного разбавления [10], разработанным в Центре изотопных исследований (Санкт-Петербург) с использованием методик, предложенных в [11–13], и стандартов, согласующихся с данными [14].

Модельные одностадийные Re–Os-возрасты, рассчитанные относительно первичного отношения $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ в углистых хондритах 0.1262 [15], изменяются от 13 до 56 млн лет в импактитах и от 54 до 65 млн лет во вмещающих вулканических породах. По четырем пробам импактитов получена Re–Os-изохрона (рис. 4) с возрастом 31 ± 3 млн. лет и первичным отношением $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.135 \pm$

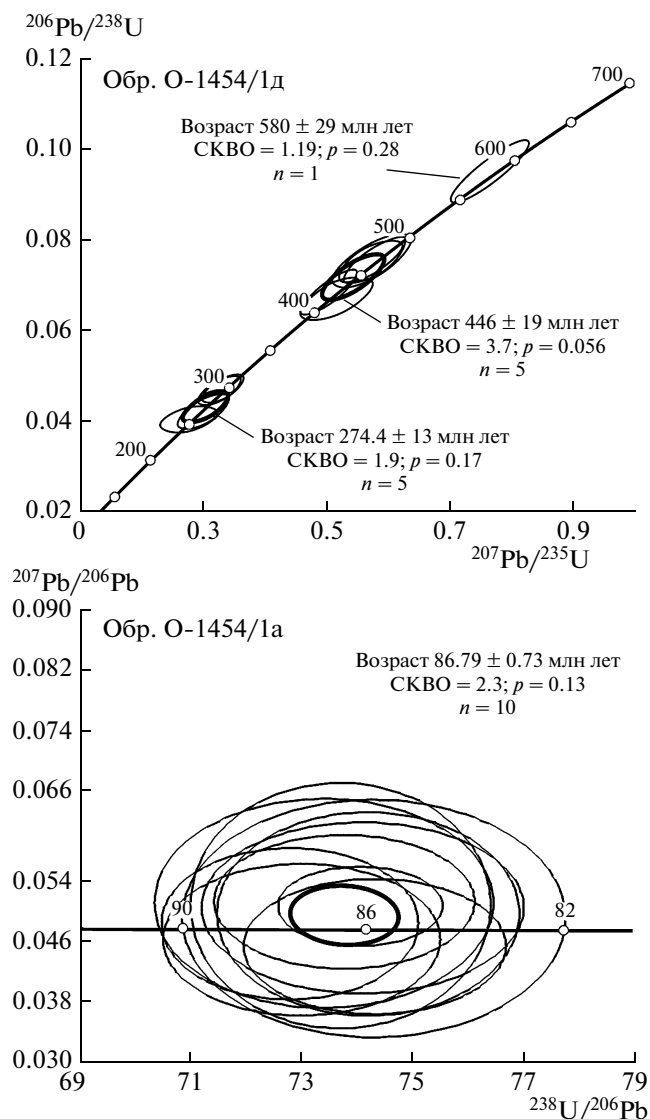


Рис. 3. Результаты SHRIMP-датирования цирконов из импактитов оз. Эльгыгытгын. Диаграммы Везерилла и Тера-Вассербурга для всех совокупностей анализов: размер эллипсов соответствует величине 2σ . Средневзвешенные результаты показаны утолщенными эллипсами.

± 0.031 ($\gamma_{Os} = +6.46$). Две пробы импактитов (О-1454/2а и О-1454/2ж) лежат значительно правее данной изохроны. Точки проб вмещающих пород расположены левее нее ($\gamma_{Os} = +83$ и 155).

Возрасты вмещающих Эльгыгытгынский кратер кислых и средних вулканитов изменяются от 81 до 89 млн лет по U–Pb-данным SHRIMP [9].

Полученная нами Re–Os-изохрона по импактитам показывает существенно более молодой возраст (31 млн лет) по сравнению с вмещающими вулканическими толщами и не согласуется с [8] и K–Ar-определениями (табл. 2).

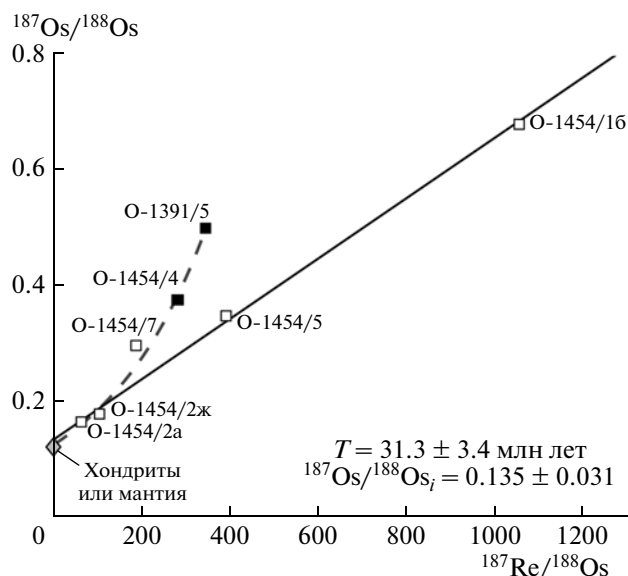


Рис. 4. Re–Os-изохрона по импактитам. Белые квадраты – импактиты, черные – вмещающие игнимбри-ты, ромб – средний состав хондритов или мантийный источник. Штриховая линия – возможная кривая смешения вмещающих пород и мантийного или метеоритного источника.

Полученный по изохроне возраст можно интерпретировать как датировку образования расплавов импактитов. Модельные возрасты вмещающих пород 53 и 65 млн лет показывают омоложенные Re–Os-возрасты относительно U–Pb-цирконовых датировок, что свидетельствует о перезапуске Re–Os-системы вторичными процессами.

Полученное по изохроне первичное отношение осмия в импактитах $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{31 \text{ млн}} = 0.135$ ($\gamma_{Os} = +6.46$) попадает в поле мантийных или метеоритных значений, в то время как вмещающие породы показывают коровые характеристики $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{31 \text{ млн}} = 0.232$ и 0.323 ($\gamma_{Os} = +83$ и $+155$). Расчетная доля метеоритного или мантийного вещества стекол импактитов при смешении материала хондритов и вмещающих игнимбри-тов должна составлять менее 0.03%. В сочетании с K–Ar-, Ar–Ar-, U–Pb-данными результаты Re–Os-определений противоречат одноактности процесса образования импактитов, а следовательно, позволяют рассматривать их как продукт вулканического происхождения. В этом случае полученная Re–Os-изохрона может датировать события генерации расплавов. Стекла “импактитов” будут представлять собой смесь вещества мантийного флюида и мезозойских верхнекоровых кислых и средних пород. Отношение $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ молодых верхнекоровых пород могло не успеть эволюционировать от мантийных значений, и первичные осмиевые характеристики возраста полученной изохроны 31 млн лет (рис. 4) могут быть около-

Таблица 1. Петрохимический (мас. %) и микроэлементный (ppm) состав представительных импактинов и вулканических пород кальдеры Эльгыгытгын (Центральная Чукотка)

Компонент	GS-18	GS-29	GS-29/1	GS-30/4	GS-41/5	GS-41/6	GS-50/1	GS-2303/1	O-1454/1a	O-1454/5	O-1454/4	O-1454/д	O-1388/5	O-1395/10	O-1396/4
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	69.08	69.92	69.33	69.03	68.27	73.84	69.40	69.27	68.42	69.74	70.31	69.49	72.08	63.45	50.41
TiO ₂	0.46	0.41	0.35	0.37	0.46	0.55	0.72	0.52	0.42	0.36	0.28	0.42	0.19	0.61	1.22
Al ₂ O ₃	14.92	15.08	15.06	14.93	15.60	14.43	14.99	15.40	15.58	15.23	11.26	15.00	14.04	15.03	17.64
Fe ₂ O ₃	1.50	0.71	1.89	1.58	0.96	0.68	1.19	1.15	1.41	1.39	0.86	1.97	1.54	3.70	5.75
FeO	1.52	2.71	2.40	1.94	2.79	2.10	1.69	3.19	1.62	1.94	1.53	1.00	0.58	1.70	3.34
MnO	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	Сл.	0.06	0.07	0.08	0.05	0.08	0.02	0.12	0.11	0.19
MgO	1.08	1.23	1.02	1.01	1.18	0.96	0.98	1.43	1.04	1.21	0.29	0.82	0.67	1.21	3.68
CaO	2.45	2.66	2.10	2.53	2.76	0.43	2.61	3.18	2.94	2.94	4.40	2.27	1.38	3.12	7.89
Na ₂ O	3.34	3.11	3.30	3.34	3.85	1.78	3.44	1.75	3.54	2.73	2.23	3.30	3.95	3.54	3.00
K ₂ O	3.92	3.92	3.98	3.72	3.74	3.07	3.91	3.42	3.88	3.84	4.20	3.76	3.50	5.09	1.93
P ₂ O ₅	0.10	0.34	0.20	0.25	0.21	Сл.	0.14	0.24	0.12	0.07	0.2	0.15	0.07	0.23	0.61
H ₂ O ⁻	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	0.21	0.10	Сл.	—	0.06	0.31	0.22	0.18	0.88	0.51
П.л.п	1.61	0.10	0.41	1.13	0.30	1.44	1.02	0.20	0.73	0.21	4.38	1.65	1.44	1.74	3.98
Сумма	100.03	100.25	100.10	99.89	100.17	99.59	100.25	99.82	100.78	99.77	110.25	100.07	99.74	100.41	99.85
Be	2.10	2.14	2.66	2.12	2.25	1.72	2.16	1.95	2.41	2.73	1.09	2.18	1.09	2.83	—
Sc	5.82	7.60	11.00	6.17	7.77	6.36	5.98	7.67	15.35	18.25	—	10.69	—	12.93	21.6
V	36.45	34.90	27.47	35.94	59.02	38.73	35.37	60.12	52.38	38.39	13.82	38.99	13.82	106.9	274
Cr	36.0	33.0	30.0	24.0	10.0	9.0	30.0	40.0	7.5	46.0	10.61	5.0	10.61	8.2	1572
Co	4.07	5.40	4.29	4.28	6.76	5.21	3.99	6.84	5.03	6.24	2.50	3.67	2.50	7.25	27.2
Ni	2.17	13.06	16.53	4.22	5.81	2.85	2.91	6.66	7.29	32.44	6.12	9.83	6.12	18.93	35.1
Cu	3.99	9.68	11.84	5.41	11.00	8.78	14.31	13.54	12.0	29.6	4.06	13.7	4.06	10.98	95.5
Zn	60.21	32.27	74.57	64.80	93.87	54.76	63.93	69.24	59.1	38.9	36.71	58.4	36.71	77.0	96.7
Ga	16.53	14.94	19.72	17.10	17.61	15.13	17.03	17.14	21.90	19.36	11.53	19.25	11.53	19.78	21.1
Ge	1.10	0.82	1.55	1.07	1.36	1.09	0.89	1.27	—	—	1.22	—	1.22	—	1.49
Rb	146.00	153.85	150.24	162.50	166.25	159.07	127.24	133.44	167.7	158.3	99.89	162.4	199.89	184.9	31.9
Sr	281.24	269.86	215.89	304.36	340.04	295.76	246.63	255.41	341.4	247.7	184.07	329.6	184.07	620.7	943

Таблица 1. Окончание

Компонент	GS-18	GS-29	GS-29/1	GS-30/4	GS-41/5	GS-41/6	GS-50/1	GS-2303/1	O-1454/1a	O-1454/5	O-1454/4	O-1454/1д	O-1388/5	O-1395/10	O-1396/4
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y	18.11	22.73	34.91	21.48	22.31	16.72	20.96	19.66	24.44	35.4	12.01	20.47	12.01	21.15	2.6
Zr	158.85	201.83	298.88	201.75	211.52	192.37	205.20	149.95	193.9	241.2	87.56	220.7	87.56	185.80	169
Nb	7.08	9.62	11.53	9.24	8.31	9.38	7.99	7.95	9.61	10.67	4.11	8.48	4.11	8.66	10
Cs	8.07	8.39	7.78	7.20	10.21	12.11	7.30	11.64	6.15	6.34	0.65	6.09	0.65	1.93	0.42
Ba	926.67	957.36	974.75	923.80	870.57	370.56	936.30	922.45	998.1	1025.0	1206.7	1001.1	1206.0	1105.0	822
La	28.32	31.44	32.66	30.82	28.94	31.55	31.26	27.19	32.62	37.21	21.56	30.10	21.56	27.5	30.0
Ce	54.99	67.05	70.88	64.17	63.54	65.99	62.85	60.88	70.48	79.9	40.12	66.13	40.12	57.38	65.7
Pr	5.86	6.82	8.32	6.68	6.90	7.30	6.54	6.53	6.38	9.01	3.28	6.44	3.28	6.25	9.22
Nd	22.36	27.62	33.43	25.69	25.75	30.68	24.66	24.99	28.52	35.37	15.16	25.05	15.16	25.61	36.6
Sm	4.04	5.02	6.88	4.66	5.00	5.58	4.58	4.55	5.10	6.85	2.88	4.13	2.88	4.45	8.47
Eu	0.92	0.99	1.18	0.95	0.98	0.89	0.95	1.02	1.03	1.16	0.69	0.89	0.69	1.31	2.29
Gd	3.85	4.83	6.66	4.50	4.73	5.62	4.42	4.31	4.83	5.69	4.60	3.93	4.60	4.54	7.11
Tb	0.56	0.66	0.93	0.59	0.64	0.60	0.57	0.59	0.65	0.95	0.40	0.56	0.40	0.59	0.80
Dy	3.24	4.11	5.65	3.55	4.02	3.69	3.64	3.57	4.26	6.06	1.81	3.67	1.82	3.84	4.15
Ho	0.69	0.86	1.27	0.77	0.82	0.77	0.75	0.76	0.85	1.19	0.51	0.59	0.51	0.73	0.80
Er	1.93	2.63	3.46	2.16	2.30	2.27	2.13	2.15	2.48	2.69	1.42	2.22	1.42	2.13	2.13
Tm	0.33	0.42	0.57	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.39	0.53	0.22	0.34	0.22	0.30	0.30
Yb	2.12	2.70	3.62	2.35	2.54	2.39	2.44	2.38	2.52	3.43	1.65	2.28	1.65	2.09	2.10
Lu	0.31	0.44	0.54	0.39	0.42	0.38	0.36	0.36	0.39	0.53	0.20	0.39	0.20	0.33	0.29
Hf	3.77	6.00	8.40	4.83	4.55	6.24	5.86	4.93	5.71	6.61	2.58	6.13	2.58	5.00	4.1
Ta	0.62	0.69	0.71	0.71	0.69	0.80	0.48	0.67	0.60	0.63	0.33	0.62	0.33	0.47	<0.3
Pb	20.02	11.97	23.07	20.41	18.56	17.64	22.56	20.91	17.76	16.55	16.54	18.47	16.54	11.95	7.82
Th	11.78	13.42	12.04	12.58	13.51	12.26	13.51	12.95	13.48	13.26	6.71	14.08	6.71	8.42	2.22
U	3.31	3.76	3.71	3.82	4.24	4.04	4.11	3.63	3.75	3.30	2.35	4.05	2.35	2.29	0.77

Примечание. Анализы: 1–10, 12 – стекла импактитов; 11, 13–15 – вулканические породы впадины Эльгыгытгын; 11 – риолито-дацит, воронинская свита; 13 – риолит, эртываамская свита; 14 – дацит, пыкараамская свита; 15 – базальт, коэжуваамская свита. Петрогенные окислы определялись в химической лаборатории ДВГИ ДВО РАН (аналитики Л.И. Алексеева, Ж.А. Шека и В.Н. Каминская). Определение содержания микро- и редкоземельных элементов выполнены методом ICP-MS (СибГЕОХИ, Иркутск, аналитик Г.П. Сандмирова).

Таблица 2. Результаты определения К–Аг-возраста стекол импактитов кальдеры Эльгыгытгын

№ п/п	Номер образца	Калий, % ±σ	⁴⁰ Аг _{рад} , нг/г ±σ	⁴⁰ Аг _{возд} , % в образце	Возраст, млн лет ±2σ
1	GS-18	3.32 ± 0.04	0.998 ± 0.011	41.1	4.30 ± 0.15
2	GS-29	3.32 ± 0.04	0.851 ± 0.010	51.5	3.70 ± 0.15
3	GS-29/1	3.57 ± 0.046	0.869 ± 0.006	16.1	3.50 ± 0.10
4	GS-50/1	3.30 ± 0.04	0.858 ± 0.009	24.8	3.75 ± 0.15
5	GS-41/5	3.21 ± 0.04	0.857 ± 0.010	78.0	3.85 ± 0.15
6	GS-41/6	2.72 ± 0.03	0.583 ± 0.020	93.1	3.10 ± 0.25
7	GS-2003/1	2.93 ± 0.03	0.705 ± 0.011	69.0	3.45 ± 0.15
8	O-1454/1a	3.58 ± 0.04	0.872 ± 0.06	17.5	3.58 ± 0.15
9	O-1454/5	3.35 ± 0.04	0.860 ± 0.02	18.0	3.70 ± 0.20

Примечание. Обр. 18 – шлаковый импактит, юго-восточный берег; обр. 29 – бомба, стекло, северо-западный берег руч. Тихий; обр. 29/1 – плитчатое, хрупкое стекло, северо-западный берег руч. Тихий; обр. 50/1 – шлаковидный импактит, западное побережье; обр. 41/5 – пузырчатое импактное стекло, южный борт, канава; обр. 41/6 – пемзовидный импактит, южный борт, канава; обр. 2003/1 – бомба, левый борт р. Энмываам, в 22 км ниже истока; обр. O-1454/1a – стекло, импактная брекчия, южный берег озера; обр. O-1454/5 – бомба, басс. р. Угаткын. Определения проводились в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН, аналитик В.А. Лебедев. Содержания радиогенного аргона определяли на масс-спектрометре МИ-1201 методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера ³⁸Аг, калий – методом пламенной спектрофотометрии. При расчете возраста использованы константы $\lambda_K = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $\lambda_B = 4.96 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $^{40}\text{K} = 0.01167$ (ат. %). Средневзвешенный возраст по девяти пробам стекол импактитов, определенный К–Аг-методом, равен 3.60 ± 0.15 млн лет, что соответствует определению по ⁴⁰Аг/³⁹Аг [8].

Таблица 3. Re–Os-данные по импактитам и вмещающим породам кратера Эльгыгытгын

Образец	Порода	Os, ppt	Re, ppt	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁸ Os ±2σ	¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os ±2σ	T _{мод} , млн лет	γOs _{31 млн}
O-1391/5	Мишень	5.67	390	345.4 ± .1	0.50192 ± 100	65.2	155.0
O-1454/5	Импактит	4.28	340	391.5 ± 6.3	0.34994 ± 65	34.3	16.5
O-1454/2a	То же	41.14	533	62.5 ± 0.7	0.16754 ± 44	39.7	6.7
O-1454/16	»	11.51	2368	1056 ± 12	0.68107 ± 269	31.5	6.6
O-1454/1a	»	0.90	303	1697 ± 65	0.50010 ± 91	13.3	–396
O-1454/1в	»	1.01	243	1190 ± 47	0.41434 ± 59	14.5	–258
O-1454/2ж	»	12.06	264	105.6 ± 4.1	0.18170 ± 65	31.5	0.3
O-1454/4	Мишень	1.78	102	282 ± 19	0.37757 ± 64	53.5	82.9
O-1454/7	Импактит	22.85	870	186.5 ± 5.6	0.29915 ± 74	55.6	59.0

Примечание. Определения изотопов осмия и Re–Os-отношения получены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), аналитик Р.Ш. Крымский (объяснения см. в тексте) [10].

мантейными, особенно в андезитах и базальтах, а для кислых пород ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os-отношения более высокие в отличие от мантейных (¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os_{31 млн} = 0.232–0.323 против 0.12–0.14 в мантии).

Полученная Re–Os-изохрона не отвечает реальному геологическому событию, а является результатом смешения рения и осмия нескольких типов вмещающих пород с различными первичными характеристиками с веществом мантейного источника (рис. 4). Также нельзя исключить несколько разновозрастных этапов генерации расплавов – 31 и 14 млн лет на основе Re–Os-мо-

дельных возрастов. К–Аг- и Аг–Аг-системы показывают время последнего нагрева и дегазации импактитов при взрывном извержении, тогда как Re–Os-система могла оказаться более устойчивой к этому событию и отражает процессы формирования расплава во флюидно-магматической камере. Судя по результатам U–Pb-определений (обр. O-1454/1a и O-1454/1д), импактиты формировались на разных глубинах из разных исходных пород, а затем были извергнуты несколькими взрывами.

Исходя из всех имеющихся геологических, петрологических, геохронологических и изотоп-

но-геохимических данных, изложенных выше, вулканическая природа импактитов и кратера Эльгыгытгын является более обоснованной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН и Президиума ДВО РАН, проект № 9–1–П16–02.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Masaitis V.L., Selivanovskaya T.V.* // Зап. ВМО. 1987. В. 4. Т. 124. С. 52–59.
2. Импактиты / Под ред. А.А. Маракушева. М.: Изд-во МГУ, 1981. 240 с.
3. *Маракушев А.А., Богатырев О.С., Фенюгов А.Н. и др.* // Петрология. 1993. Т. 1. № 6. С. 577–595.
4. *Белый В.Ф.* // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 36–55.
5. *Sakhno V.G.* // J. Confer. EUG-10. Abstr. 1999. V. 008:4k/12:H2. P. 778.
6. *Niessen F., Gebhardt A.C., Kopsch C., Wagner B.* // J. Paleolimnol. 2007. V. 3. P. 49–63. Doi 10. 1000/S 10933-066-9022-9.
7. *Яковлев О.И., Парфенова О.В., Архангельская В.Н.* // ДАН. 1978. Т. 20. № 4. С. 934–937.
8. *Layer P.* // Meteorit. Planet. Sci. 2000. V. 34. P. 591–599.
9. *Сахно В.Г., Полин В.Ф., Акинин В.В. и др.* // ДАН. 2010. Т. 434. № 3. С. 365–371.
10. *Крымский Р.Ш., Сергеев Д.С., Брюгманн Г.Э. и др.* // Регион. геология и металлогения. 2011. № 46. С. 51–60.
11. *Paliulionyte V., Meisel Th., Ramminger P., Kettisch P.* // Geostandards and Geoanal. Res. 2006. V. 30. P. 87–96.
12. *Birck J.L., Barman M.R., Capmas F.* // Geostandards Newlett. 1997. V. 20. P. 19–27.
13. *Rehkamper M., Halliday A.N., Barfod D., Fitton J.G.* // Science. 1997. V. 278. P. 1595–1598.
14. *Meisel Th., Reisberg L., Moser J., et al.* // Chem. Geol. 2003. V. 201. P. 161–179.
15. *Walker R.J., Horan M.F., Morgan J.W., et al.* // Geochim. et cosmochim. acta. 2002. V. 66. P. 4187–4201.