

УДК 551.21

КРАТЕР ЧАША (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) - УНИКАЛЬНЫЙ ПРИМЕР МАССОВОГО ВЫБРОСА КИСЛОЙ ПИРОКЛАСТИКИ В ПОЛЕ БАЗАЛЬТОВОГО АРЕАЛЬНОГО ВУЛКАНИЗМА

© 2002 г. О. В. Дирксен¹, В. В. Пономарева¹, Л. Д. Сулержицкий²

¹Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

²Геологический институт РАН, Москва, 109017

Поступила в редакцию 04.01.2001 г.

Кратер Чаша находится на Южной Камчатке в центральной части лавового плато Толмачев дол - района интенсивного базальтового вулканизма в плейстоцене-голоцене. Кратер сформировался 4628 ± 90 ¹⁴C лет назад [9] во время мощного одноактного извержения. Продукты извержения представлены вблизи кратера мощной стратифицированной пачкой тефры, на удалении мощность горизонта быстро убывает. Тефра этого извержения [9] распространялась на северо-восток и покрывала территорию более 15000 км². Общий объем тефры около 1.0-1.1 км³, в пересчете на плотную породу - 0.7-0.8 км³. Внешний облик ювенильных продуктов колеблется от светло-желтой хрупкой, пористой пемзы до светло-серых плотных, невспененных обсидианоподобных обломков. Однако химический состав всех разновидностей довольно однороден - это риолиты (73-75 вес. % SiO₂) с повышенным содержанием К₂O (до 3.8 вес. %). Все разновидности содержат небольшое количество вкрапленников (около 1%), представленных плагиоклазом, биотитом и, возможно, амфиболом. Сравнение химических характеристик изверженных продуктов кратера Чаша и Бараньего Амфитеатра на северном подножии вулкана Опала дает нам основания предположить, что оба извержения питались из одного долгоживущего кислого магматического очага, сформировавшегося около 30000-40000 ¹⁴C л.н., перед образованием кальдеры вулкана Опала.

Вулканические пеплы крупнейших извержений, выпадавшие на значительных территориях, являются великолепными временными маркерами для различных стратиграфических корреляций. В течение 80-90-х гг. XX в. на территории Камчатки проводились работы с целью выявления голоценовых маркирующих горизонтов вулканических пеплов (тефры) и установлению их источников [8, 9]. В пределах Южной Камчатки было выделено одиннадцать таких горизонтов, для десяти из которых источник к настоящему времени уверенно установлен как непосредственным прослеживанием прослая пепла вплоть до эруптивного центра, так и с использованием минералогических и геохимических характеристик тефры. Единственным исключением оказался пепел, которому был присвоен индекс ОП_п. Последний хорошо прослеживался от подножия вулканов Мутновский и Горелый по долине р. Паратунка до г. Петропавловска-Камчатского и далее, до северного подножия вулкана Авачинский. Его возраст был определен с помощью радиоуглеродного датирования выше- и нижележащего слоев торфа и почвы и составил 4628 ± 90 ¹⁴C л.н. [9]. На основании имевшихся к тому времени данных по минералогии и химическому составу этого пепла в [9], предполагалось, что он связан с извержением вулкана Опала.

Однако проведенные в 1997-1998 гг. полевые работы на Толмачевом долу и в районе вулкана Опала позволили определить истинный источник

этой тефры - кратер Чаша, расположенный среди базальтовых шлаковых конусов Толмачева дола.

Толмачев дол представляет собой лавовое плато с абсолютными отметками 800-900 м образованное в результате массовых излияний лав из многочисленных шлаковых конусов, рассеянных по площади около 225 км². В общей сложности здесь насчитывается более 100 эруптивных центров (рис. 1). Толмачев дол продолжает к северу зону ареального вулканизма Южной Камчатки, протягивающуюся в северо-восточном направлении от вулкана Ксудач.

Эруптивный центр Чаша расположен в средней части дола и состоит из двух кратеров. Диаметр главного кратера около 1.2 км, на его дне расположено озеро, глубина кратера до уровня озера колеблется от 160 до 220 м. Озеро, изометричное в плане, имеет размеры 700 x 500 м. Глубина озера точно неизвестна. По нашей реконструкции она достигает 270 м. Таким образом, первоначальная глубина главного кратера могла достигать 430-500 м (рис. 2). Меньший кратер имеет диаметр по верхнему краю ~600 м и глубину ~80 м. Почти половина малого кратера срезана в северо-восточной части главным кратером. Дно меньшего кратера в настоящее время — плоская равнина, в прошлом здесь, по-видимому, также располагалось небольшое озеро. В бортах главного кратера вскрыты многочисленные выходы коренных пород - лавы потоков, которыми и было сформировано плато Толмачев дол. Венчают

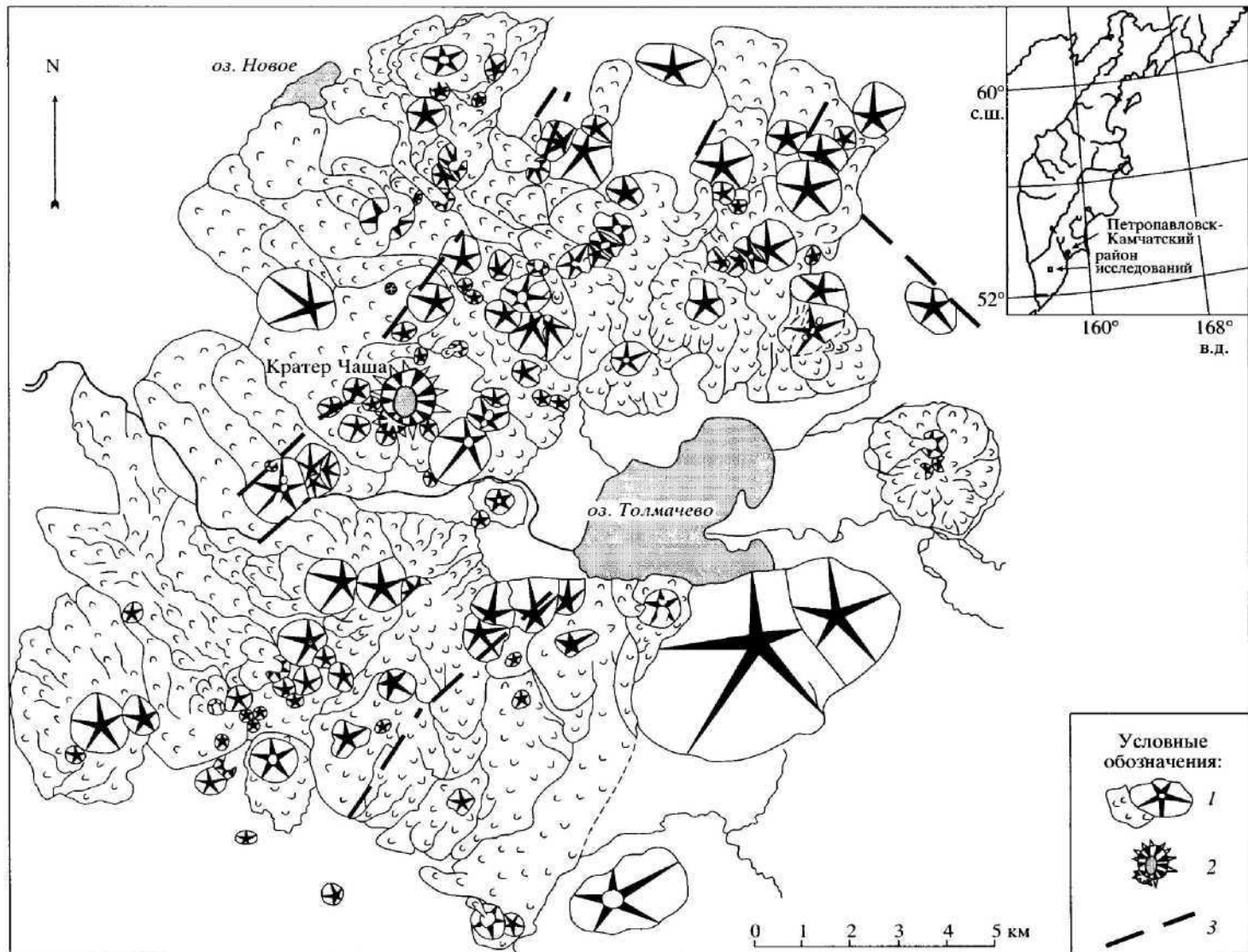


Рис. 1. Геолого-геоморфологическая схема Толмачева дола: 1 – шлаковые конусы и их лавовые потоки; 2 – кратер Чаша; 3 – выраженные в рельефе тектонические нарушения.

разрез рыхлые пирокластические отложения, выброшенные во время извержения из кратера Чаша. В восточном и юго-восточном бортах граница между лавами и пирокластикой отчетливо прослеживается по многочисленным выходам грунтовых вод, которые, фильтруясь через эту пирокластику, стекают по кровле лавового покрова, образуя отчетливый карниз в стенке и служащего местным водупором. Кроме того, здесь наблюдается некоторое изменение угла склона, который становится более пологим в пирокластических отложениях. Суммарный объем обоих кратеров, по нашим оценкам, составляет около 0.2 км³.

Пирокластика, отложившаяся во время извержения из центра Чаша, обнаружена во многих точках на территории дола. Наиболее полно она описана в 2 км к востоку от бровки кратера на берегу небольшого озера, где подрезается периферическая часть пологого насыпного вала вокруг кратера. Здесь отложения представлены стратифицированной пачкой желтого и серовато-желтого цвета мощностью около 4 м, но подошва горизонта не вскрыта. Мощность отдельных слоев колеблется от 2 до 60 см, причем часто переход между соседними слоями очень постепенный и четко определить точную мощность каждого слоя весьма затруднительно. Стратификация внутри слоев либо отсутствует, либо очень слабо выражена, преимущественно субгоризонтальная. Для всего разреза характерна плохая или средняя сортировка отложений.

Характерной чертой отложений является в среднем небольшой, учитывая близость (около 2 км) центра извержения, размер обломков. В основном, это крупно- и мелкозернистые пески с отдельными прослоями гравия и лапилли. Средний размер обломков в отдельных слоях колеблется от 0.5 мм до 1 см, в грубых слоях встречаются лапилли размером до 7 см (рис. 3).

Пирокластика состоит из ювенильного и резургентного компонентов. Ювенильная пирокластика представляет собой светло-желтые, светло-серые, иногда полосчатые, угловатые обломки риодацитов. пористость которых колеблется в очень широком диапазоне от сильнопористых пемз до обсидианоподобных обломков без видимой пористости. Для всех разностей характерно малое количество минералов-вкрапленников (плагноклаз > биотит > магнетит).

Резургентный материал представлен преимущественно темно-серыми, черными плотными от слабо- до среднепористых) угловатыми обломками базальтов и андезитобазальтов, также с небольшим количеством вкрапленников (оливин > плагноклаз > пироксен). Данная составляющая тефры является результатом дробления во время извержения лав, слагающих плато Толмачева дола.

Кроме того, в небольшом количестве присутствуют обломки плотных непористых пород с большим содержанием минералов-вкрапленников, являющихся, по-видимому, также резургентным ма-

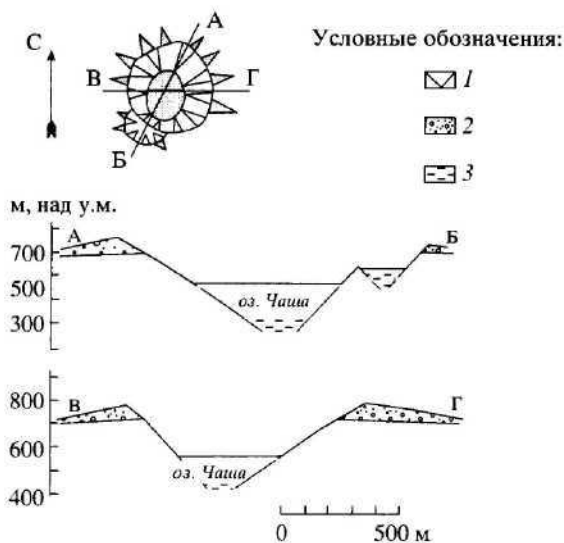


Рис. 2. Поперечные профили через кратер Чаша: 1 - реконструированная часть склонов кратера и подошвы насыпного вала; 2 - пирокластические отложения извержения; 3 - озерные осадки.

териалом, источником для которого послужили более древние, не обнажающиеся в пределах дола, вулканиты. Соотношение ювенильной и резургентной пирокластики колеблется от 1 : 1 до 9 : 1, соответственно, причем вверх по разрезу наблюдается общее уменьшение количества резургентных обломков. Во всех описанных точках пирокластические отложения представляют собой единую пачку, без какого бы то ни было намека на перерыв. Поэтому мы считаем, что оба кратера были сформированы в ходе одного извержения. Исходя из того, что более мелкая воронка срезается более крупной, можно утверждать, что она образовалась первой, а после этого началась следующая фаза извержения с формированием главного кратера.

На расстоянии 20-30 км тефра кратера Чаша представлена желтым, преимущественно пемзовым, среднесортированным мелко- и тонкозернистым песком светло-желтого цвета, что делает его хорошим маркером в средней части голоценового почвенно-пирокластического чехла. При прослеживании данного горизонта на восток установлено, что именно эта тефра была описана в районе вулканов Горелый и Мутновский как маркирующий горизонт ОП_{тп}. Окончательно развеяли сомнения разрезы почвенно-пирокластического чехла в районе вулкана Опала как на его северном, так и на южном подножии. Они показали, что пепел ОП_{тп} закономерно уменьшает свою мощность и крупность от Толмачева дола в юго-западном направлении и эруптивные центры района вулкана Опала не могут быть его источником. В дальнейшем было описано еще более десятка разрезов и

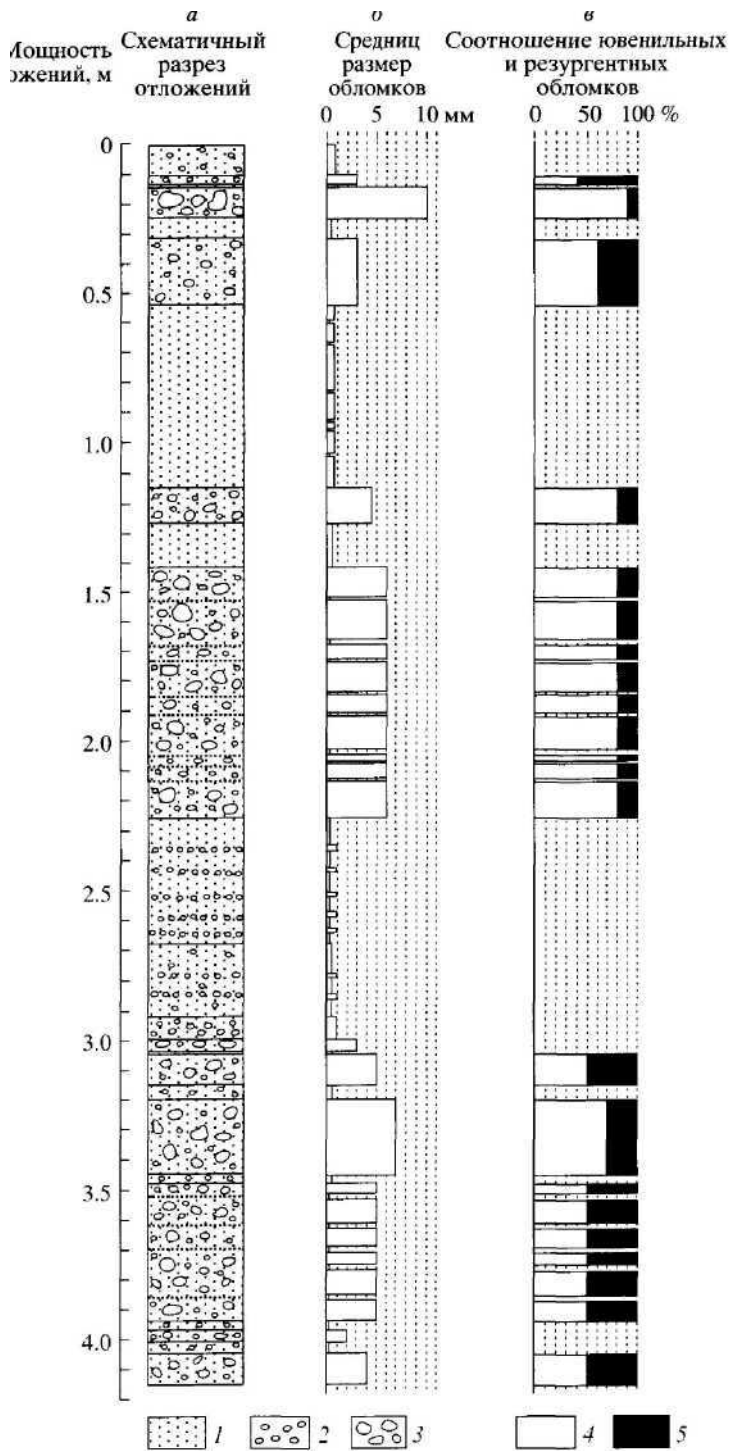


Рис. 3. Схематичный разрез (*a*), средний размер обломков (*b*) и соотношение ювенильной и резургентной пирокластики (*c*) (по полевым наблюдениям) в отложениях, связанных с извержением кратера Чаша; (для *a*: 1 — вулканический песок, 2 - гравий, 3 - лапилли; для *c*: 4 - ювенильный, 5 - резургентный материал).

Таблица 1. Новые радиоуглеродные датировки для тефры эруптивного центра озера Чаша

Лабораторный номер	Дата ^{14}C л.н.	Адрес
ГИН-9669	I 5030 \pm 120	почва непосредственно под тефрой кратера оз. Чаша, 8 км от центра извержения
	II 4950 \pm 50	
ГИН-9692	I 4630 \pm 40	1 см торфа непосредственно над тефрой кратера оз. Чаша, южная часть кальдеры Опала, 26 км от центра извержения
	II 4360 \pm 160	
ГИН-9693	I 4710 \pm 40	1 см торфа непосредственно под тефрой кратера оз. Чаша, южная часть кальдеры Опала, 26 км от центра извержения
	II 4510 \pm 80	

Примечание. I – холодная щелочная вытяжка, II – горячая щелочная вытяжка. Определение возраста проводилось в ГИН РАН, г. Москва.

все они свидетельствовали в пользу кратера Чаша как источника пепла ОП_{тп}.

Определение возраста отложений проводилось радиоуглеродным методом. Новые датировки, полученные по почвам и торфу для этого горизонта пепла (табл. 1) дают возраст, близкий к ранее рассчитанному возрасту тефры ОП_{тп} (4628 ± 90 ^{14}C л.н. [9]), что подтверждает отнесение тефры ОП_{тп} и кратера Чаша к одному и тому же извержению.

Для тефры ОП_{тп} была построена карта изопакит (рис. 4), с помощью которой был вычислен объем изверженного материала. Объем тефры за пределами насыпного вала составил 0.9-1 км³. Рассчитать точный объем насыпного вала вокруг эруптивного центра затруднительно из-за расчлененного подстилающего рельефа. По нашим оценкам, он может быть порядка 0.1 км³. Таким образом, общий объем извергнутого материала близок, вероятно, к 1.0-1.1 км³, а вес, при объемном весе 1.5-1.6 т/м³, составит 1.5-1.8 $\times 10^9$ т. Пересчитав полученное значение в объем невспененных пород (с плотностью для риолитов 2.3 т/м³), получим, что объем извергнутой пироклаستيку равен 0.7-0.8 км³, и как минимум, в три раза превосходит суммарный объем эксплозивных воронок (0.2 км³).

Отдельно стоит остановиться на вопросе о химическом составе извергнутого материала. Расположение этого центра в поле интенсивного проявления ареального базальтового вулканизма [2,5] позволяло прежним исследователям предполагать, что и извергавшийся из данного центра ювенильный материал также должен быть базальтового состава. Однако в данном случае дело обстоит иначе. Соотношение обломков основного и кислого состава, а также результаты химического анализа валового состава (табл. 2) пирокластики свидетельствуют в пользу того, что ювенильным материалом данного извержения была риодацитовая магма. Присутствующий же в тефре базальтовый материал является лишь ее резургентной составляющей.

Взрывные воронки, наряду со шлаковыми конусами, являются одними из самых распространенных вулканических форм как в мире, так и в пределах Камчатки, однако эруптивный центр озера Чаша стоит особняком по отношению к большин-

ству из них, в первую очередь, из-за химического состава ювенильного материала и очень большого объема извергнутого материала. Формирование большинства взрывных воронок происходит в результате фреатических или фреато-магматических извержений, вызванных взаимодействием поднимающейся магмы и воды в водоносных горизонтах. В подавляющем большинстве случаев извергнутая пирокластика представляет собой либо резургентный материал, либо смесь резургентного и ювенильного базальтового или андезитобазальтового материала (маары La Brena-El Jagueu, Мексика [7], Ukinrek, Аляска, [10], Колдобище [1], другие маары Качатки [2, 4] и т.д.). Эруптивный центр озера Чаша представляет собой достаточно редкий на Камчатке образец голоценового одноактного центра, извергавшего кислую пирокластику. К настоящему времени на Камчатке известны лишь два извержения, которые, при определенных оговорках, можно принять за аналог описываемого события - это извержения Ходуткинского "маара" на подножии вулкана Ходутка (-2800 ^{14}C л.н.) и Бараньего Амфитеатра на подножии вулкана Опала (~ 1500 ^{14}C л.н. [3]). В обоих случаях в результате одного или нескольких, сближенных во времени, извержений тоже выбрасывалась кислая пирокластика. В случае Ходуткинского "маара" был близок и объем изверженного материала: 1.0-1.5 км³ для Ходуткинского "маара" и 1.0-1.1 км³ для кратера озера Чаша. В случае же с Бараньим Амфитеатром, при очень большой разнице в объеме изверженных продуктов, характер отложений очень сходен с отложениями эруптивного центра озера Чаша. Все это позволяет предположить, что во всех трех случаях тип извержений был сходным.

Обращает на себя внимание и сходный химический состав пирокластики для центра Чаша и Бараньего Амфитеатра. В обоих случаях изверженные породы представлены риодацитами до риолитов с повышенным содержанием щелочей. Ближайшими вулканическими центрами, которые извергали кислую пирокластику в конце плейстоцена-голоцене, являются вулканические комплексы Горелый [8; 6] и Опала (кальдерообразующее извержение ~ 39000 ^{14}C л.н. [8] и извер-

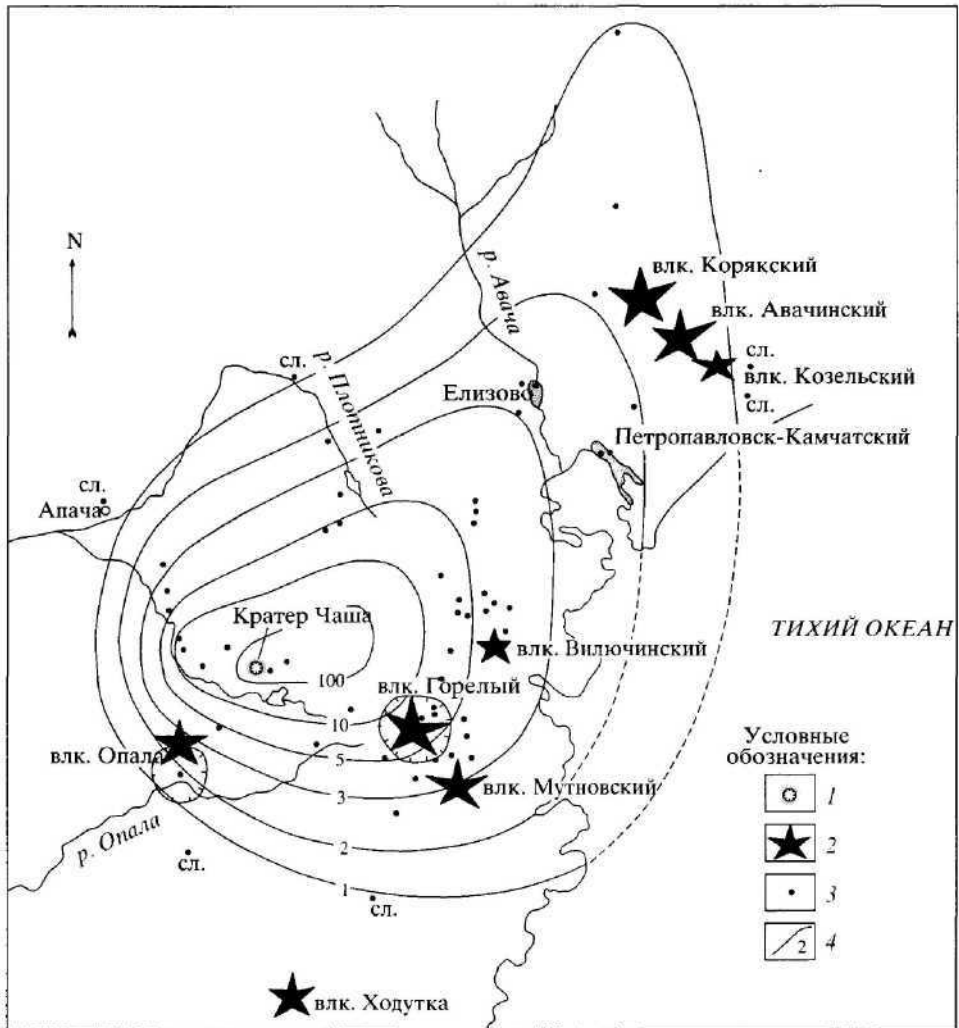


Рис. 4. Схема распространения тefры эруптивного центра Чаша: 1 - центр извержения; 2 - конусы стратовулканов; 3 - точки, в которых описана тefра данного извержения; 4 - изопахиты, в сантиметрах.

жение Бараньего Амфитеатра ~ 1500 ^{14}C л.н. [3]). При сравнении имеющихся данных легко видеть, что пирокластический материал центра озера Чаша по своим геохимическим и минералогическим характеристикам попадает в поле пород вулкана Опала. Породы же вулкана Горелый, при сходных значениях кремнекислоты (диапазон 68-70 вес. % SiO_2), имеют более высокое содержание щелочей (табл. 2, рис. 5), кроме того, в породах, непосредственно связанных с этим вулканом, не отмечено присутствия биотита в наборе фенокристов среди посткальдерных эруптивных продуктов. Отмеченные особенности позволяют сделать предварительное предположение о возможной парагенетической связи пород вулкана Опала и кратера Чаша.

Таким образом, эруптивный центр Чаша, являясь источником транзитного пепла ОП_p , представляет собой редкий для Камчатки образец одноактного центра, извергавшего кислую пирокластику. По своим характеристикам данное извержение можно отнести к разряду сильных или даже катастрофических. В целом, Толмачев дол как арена интенсивного вулканизма на протяжении всего голоцена и как район интенсивных тектонических подвижек требует дополнительного изучения, особенно, учитывая возведение в пределах дола каскада гидроэлектростанций.

Авторы выражают свою благодарность И.В. Мелекесцеву и О.А. Брайцевой за помощь при написании данной статьи и за предоставленные полевые материалы, Н.Е. Зарецкой - за обра-

Таблица 2. Химический состав пирокластиче-ско-вулканических центров озера Чаша, Бараньего Амфитеатра и вулкана Горелый, мас. %

№ п/п	Центр извержения	Анализируемый материал	Расстояние от центра извержения	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма
1	Чаша	Вулканическая бомба	2 км	76.43	0.12	13.47	0.80	н/а	0.08	0.16	0.99	4.01	3.91	0.04	100.00
2	Чаша	Вулканическая бомба	2 км	76.42	0.12	13.41	0.81	н/а	0.08	0.17	1.00	4.05	3.90	0.04	100.00
3	Чаша	Тонкозернистый песок	85 км	72.79	0.43	14.28	0.00	2.08	0.11	0.67	2.31	3.97	3.10	0.26	100.00
4	Чаша	Тонкозернистый песок	22 км	72.64	0.63	14.52	0.00	1.63	0.07	0.88	2.03	3.93	3.46	0.20	100.00
5	Чаша	Среднезернистый песок	20 км	68.84	0.72	16.75	2.02	2.09	0.12	1.20	2.17	3.30	2.65	0.14	100.00
6	Бараний Амфитеатр	Вулканическая бомба	1.5 км	73.68	0.21	14.43	0.14	1.04	0.08	0.67	1.70	4.32	3.65	0.08	100.00
7	Бараний Амфитеатр	Среднезернистый песок	13 км	69.42	0.46	16.48	1.82	1.65	0.13	0.77	2.45	3.84	2.91	0.07	100.00
8	Бараний Амфитеатр	Тонкозернистый песок	250 км	74.37	0.57	14.09	0.01	1.84	0.09	0.69	1.00	3.80	3.44	0.09	100.00
9	вулкан Горелый	Пемза	?	66.00	0.79	16.48	0.91	3.01	0.10	1.55	2.99	4.96	3.03	0.18	100.00
10	вулкан Горелый	Пемза	?	66.28	0.71	15.54	1.56	2.95	0.14	1.5	3.43	4.67	3.03	0.19	100.00
11	вулкан Горелый	Пемза	?	68.14	0.70	15.87	0.86	1.59	0.05	0.45	3.22	4.59	4.39	0.15	100.00
12	вулкан Горелый	Игнимбрит	?	63.34	1.11	18.33	2.70	2.02	0.20	0.74	3.83	5.05	2.41	0.26	100.00
13	вулкан Горелый	Игнимбрит	?	66.38	1.09	17.13	2.17	0.66	0.23	0.87	3.21	5.13	2.85	0.28	100.00
14	вулкан Горелый	Игнимбрит	?	66.35	1.06	16.33	3.17	1.58	0.16	0.70	2.86	4.68	2.84	0.25	100.00

Примечание. Все анализы пересчитаны на безводный остаток. Пирокластика кратера Чаша: анализы 1–2 – определения содержания породообразующих окислов в вулканическом стекле проводились Ф. Кайлом на электронном микрозонде Cameca SX-100 в Институте Горного дела и Технологии штата Нью-Мексико, США (New Mexico Institute of Technology and Mining, USA), анализы 3–5 проводились по традиционной методике в ГИН РАН, Москва; пирокластика Бараньего Амфитеатра – по [3]; пирокластика влк. Горелый: анализы 9–10 – пемза посткальдерного извержения вулкан Горелый (по [6]), анализы 12–14 – игнимбриты кальдерообразующего извержения вулкан Горелый (по [5]).

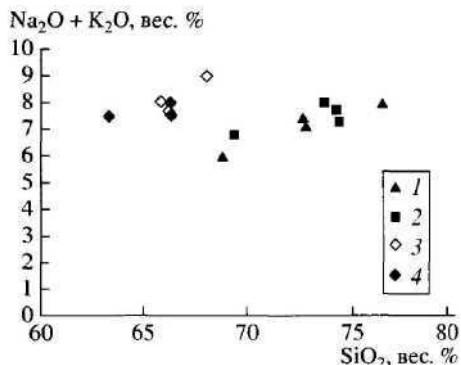


Рис. 5. Диаграмма SiO₂-Na₂O + K₂O для пирокластики эруптивных центров Чаша, Опала и Горелый. Значками показаны: 1 - тephра кратера Чаша; 2 - тephра Бараньего Амфитеатра; 3 - пирокластика посткальдерных извержений вулкана Горелый; 4 - ипимбриды вулкана Горелый.

ботку радиоуглеродных образцов, а также Ф. Кайлу (Ph. Kyle) за предоставленные материалы.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, а также Национального Географического Общества США (National Geography Society), грант № 6215-90.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дирксен О.В., Мелекесцев И.В. Хронология, динамика формирования и морфология эруптивных центров голоценового этапа ареального вулканизма бассейна р. Авача (Камчатка, Россия) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 1. С. 3-24.
2. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки / Под ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1980. 172 с.
3. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И. и др. Особый тип катастрофических эксплозивных извержений - голоценовые субкальдерные извержения Хангар, Ходуткинский "маар", Бараний Амфитеатр (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 3-24.
4. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Важеевская А.А. и др. Вулканы и четвертичный вулканизм Среднего хребта Камчатки / Под ред. Эрлих Э.Н. М.: Наука, 1974. 230 с.
5. Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции / Под ред. Эрлих Э.Н. М.: Наука, 1966. 278 с.
6. Селягин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 3-23.
7. Aranda-Gomez J.J., Luhr J.F., Pier G. The La Brena-El Jaguey Maar Complex, Durango, Mexico: Geological evolution // Bulletin of Volcanology. 1992. V. 54. P. 393-404.
8. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. Ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bulletin of Volcanology. 1995. V. 57. P. 383-402.
9. Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D., Melekestsev I.V., Bailey J. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Research. 1997. V. 4. P. 125-139.
10. Kienle J., Kyle P.R., Self S., Motyka R.J., Lorenz V. Ukinrek Maars, Alaska, 1 April 1977 eruption sequence, petrology and tectonic setting // J. of Volcanol. Geotherm. Res. 1980. V. 7. P. 11-37.