

УДК 551.21

## РАЗЛИЧНЫЕ ПУТИ ЭВОЛЮЦИИ ВЕРХНЕКОРОВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ КАЛЬДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ. ЧАСТЬ I. СТРОЕНИЕ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ, СРАВНИТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

© 2001 г. Е. Н. Гриб, В. Л. Леонов

*Институт, вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006*

Поступила в редакцию 29.12.99 г.

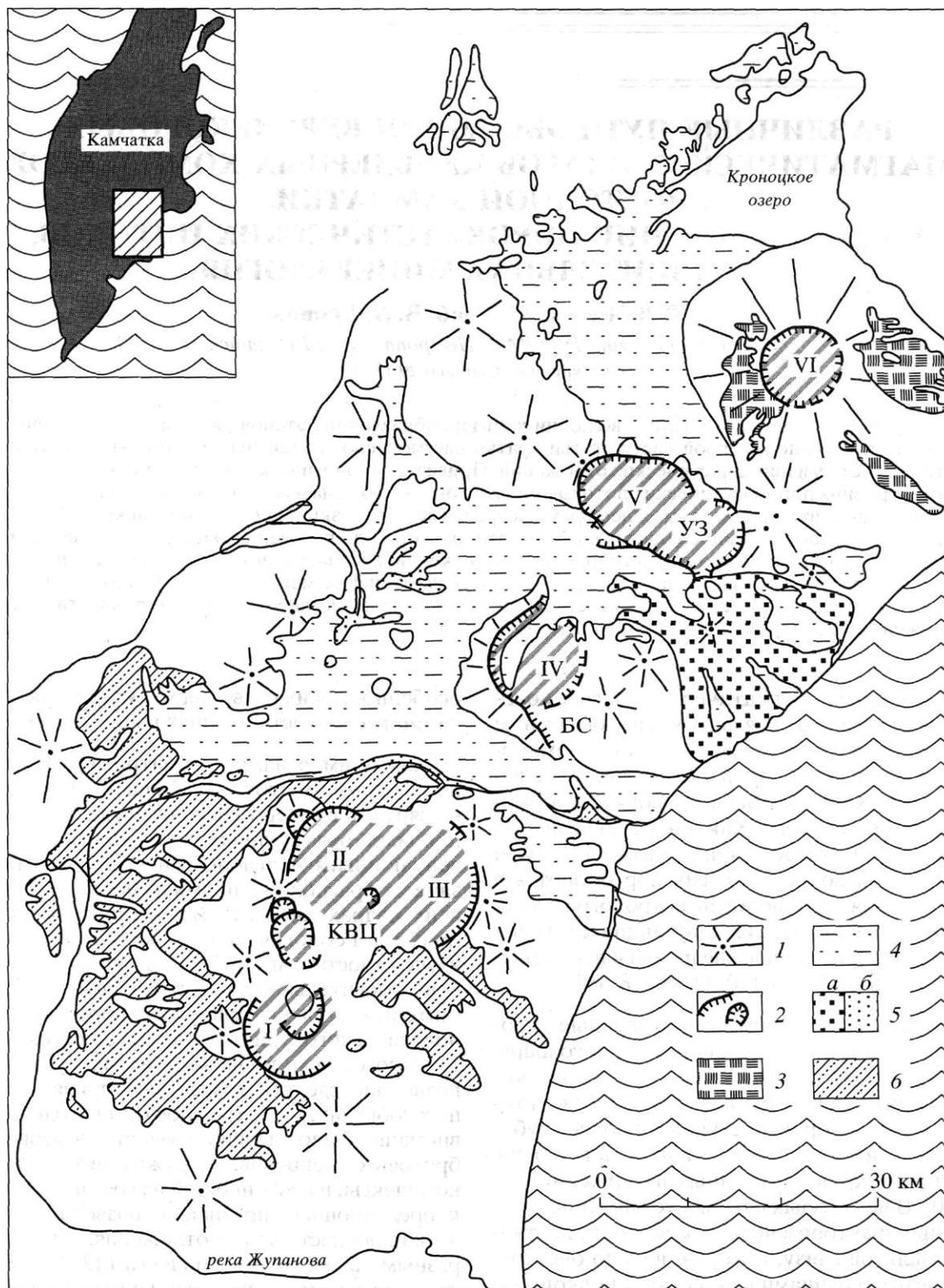
Приведен сравнительный анализ эволюции кальдерообразующих этапов ряда кальдер Восточной Камчатки. В данной, первой части статьи кратко рассмотрено геологическое строение кальдер и связанных с ними пирокластических отложений. Приведена геологическая карта, дано краткое описание строения пирокластических потоков, сделана оценка объема извергнутой пирокластике, приведены существующие на настоящее время возрастные датировки. На основании микрозондового исследования составов минеральных фаз и остаточных стекол проведен сравнительный анализ минерального состава пемзово-игнимбритовых отложений рассматриваемых кальдер. Приведены таблицы представительных анализов кристаллических фаз и фрагментов стекол. Показано, что существуют значительные отличия в составе пироксенов и титаномагнетитов из пирокластических отложений, относящихся к разным кальдерам.

Кислые коровые магматические очаги, с которыми обычно бывают связаны крупнообъемные игнимбритообразующие извержения и формирование кальдер, издавна привлекают внимание исследователей. Какие условия приводят к формированию таких очагов? Как они развиваются? Что приводит к катастрофическим взрывам и просядкам? Эти вопросы до сих пор остаются в центре внимания вулканологов, петрологов и многих других исследователей, занимающихся изучением условий образования, внедрения и перемещения магм в недрах Земли [10, 11, 16, 18, 19].

Многочисленные работы, проведенные в последние годы в различных районах земного шара, показывают, что большую роль в эволюции коровых магматических очагов играют базальтовые расплавы, которые поступают с более глубоких уровней, несут с собой тепло и могут быть инициаторами крупнообъемных извержений [13, 14, 17, 20]. В некоторых случаях устанавливается, что важным фактором является скорость поступления базальтов снизу, которая, в свою очередь, определяется геодинамической обстановкой [14, 15]. В то же время есть примеры, когда расположенные рядом кальдерные комплексы, связанные с магматическими очагами и имеющие одинаковое геодинамическое положение, развиваются различным образом. Нам представляется, что сравнительное изучение расположенных по соседству магматических очагов и выявление

особенностей их развития могут помочь ответить на многие из поставленных выше вопросов.

Как пример нами рассматривается центральный участок Восточной Камчатки, где цепочкой, вытянутой в северо-восточном направлении, расположен ряд крупных вулканических центров, венчающихся кальдерными комплексами и связанных с расположенными на небольшой глубине в их недрах кислыми магматическими очагами (рис. 1). Геологическое строение этих центров изучено достаточно хорошо. Использование методов относительного и абсолютного датирования (литолого-стратиграфической корреляции, палинологического, диатомового, палеомагнитного, трекового, уран-иониевого и радиоуглеродного) позволило сделать возрастную привязку отдельных событий [1-9, 12]. В последние годы большое внимание было уделено изучению пемзово-игнимбритовых покровов, окружающих кальдерные комплексы, и особенностей их состава, выявлению корреляционных признаков, позволяющих отличать пирокластические отложения, относящиеся к разным кальдерным комплексам [2, 3, 7, 8]. В настоящей работе, продолжающей эти исследования, мы приводим сравнительную характеристику отложений, сформировавшихся на кальдерообразующих этапах, восстанавливаем физико-химические условия, существовавшие в магматических очагах, из которых происходили извержения, показываем их различие и рассматриваем возможные причины этих различий.



**Рис. 1.** Кальдеры и связанные с ними поля игнимбритов и пемзовых туфов центрального участка Восточной Камчатки: 1 - вулканы, сформировавшиеся на докальдерном этапе; 2 - кальдеры (I - Крайняя, II - Соболиного, III - Стены, IV - вулкана Большой Семячик, V - Узон-Гейзерная, VI - Крашенинникова); 3 - пемзовые туфы, связанные с формированием кальдеры Крашенинникова; 4 - игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерной депрессией; 5 - игнимбриты (а) и пемзовые туфы (б), связанные с кальдерой Большой Семячик; 6 - игнимбриты, связанные с кальдерами Стены, Соболиного и Крайней. Буквами обозначены вулканические центры: КВЦ - Карымский; БС - Большесемячикский; УЗ - Узонский.

Таблица 1. Общие сведения о кальдерах

Кальдеры	Размеры, диаметр, км	Возраст, тыс. лет.	Объем магмы, выброшенной при образовании кальдер, км <sup>3</sup> (по [8])
Стены-Соболиного	20 × 10 две слившиеся кальдеры	180–140 по [1, 9]	100
Большой Семячик	10	120–80 по [2]	42
Узор-Гейзерная	16 × 8 несколько слившихся кальдер	80–40 по [7, 12]	46

Таблица 2. Средние составы игнимбритов (мас. %)

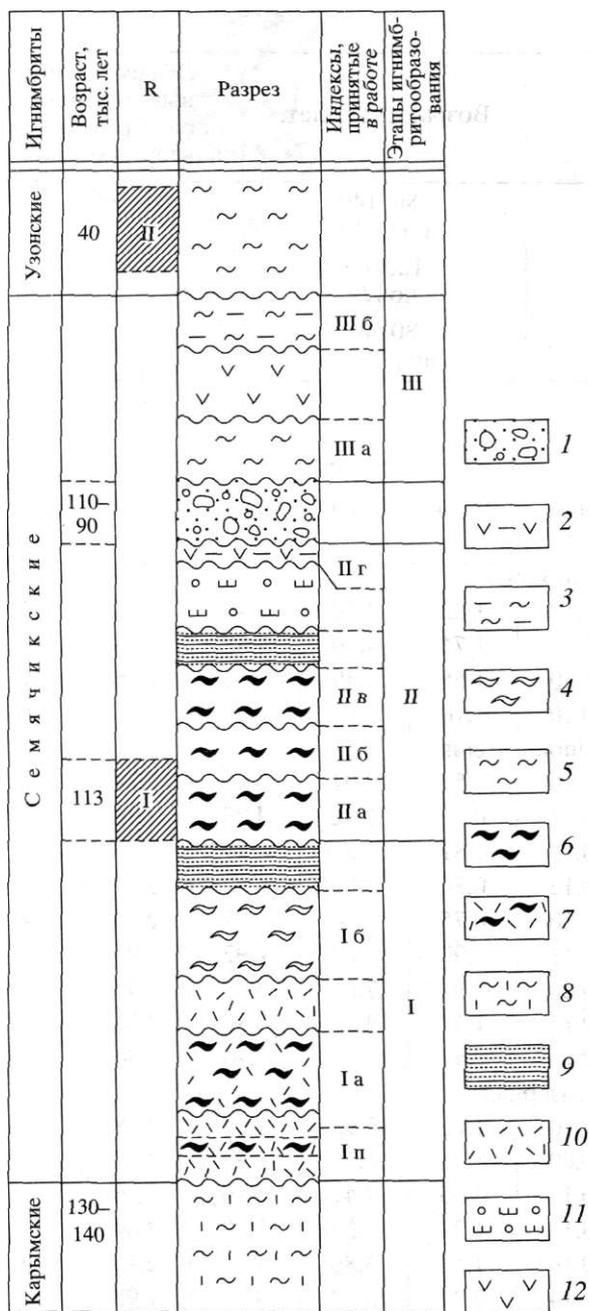
Пирокластические потоки	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Количество анализов
Кальдеры Стены-Соболиного											
I	64.14	1.01	15.76	2.95	3.40	0.18	1.82	4.28	4.40	2.06	7
II	63.83	1.04	15.63	3.07	3.26	0.18	1.74	4.80	4.32	2.13	8
III в	63.44	1.01	16.06	2.98	3.97	0.20	1.65	4.59	4.15	1.95	4
III н	68.92	0.75	14.99	1.78	2.28	0.10	1.10	2.80	4.80	2.48	5
Кальдера Большой Семячик											
I п	74.02	0.22	13.90	0.73	1.32	0.10	0.50	2.04	3.90	3.24	4
I а	71.62	0.40	14.68	0.85	2.09	0.13	0.62	2.62	4.23	2.76	6
I б	63.57	0.86	16.65	2.76	3.20	0.13	1.81	5.23	4.27	1.64	6
II а	69.57	0.66	15.37	1.48	2.26	0.12	0.84	2.80	4.82	2.07	9
II б	71.00	0.63	14.76	1.46	2.25	0.10	0.75	2.14	4.57	2.33	4
II в	68.61	0.71	15.25	1.72	2.66	0.13	0.90	3.09	4.92	2.01	4
II г	54.32	1.31	15.74	7.37	5.09	0.24	3.90	7.99	3.07	0.96	2
III а	64.97	0.89	15.30	3.65	3.37	0.14	1.44	4.38	3.80	2.06	6
III б	61.36	1.02	15.60	3.90	4.27	0.15	2.44	5.72	3.70	1.84	3
Кальдера Узон-Гейзерная											
ЮП игн	70.16	0.81	14.25	1.71	2.01	0.10	1.26	2.95	4.07	2.68	4
ЮП игн	65.71	0.89	15.77	3.14	2.19	0.09	1.60	4.38	3.93	2.30	7
ЮП шл	56.74	1.17	16.31	1.43	8.38	0.17	3.56	7.41	3.86	0.96	3
СП игн	68.55	0.97	14.36	2.26	2.70	0.10	1.22	3.20	3.90	2.64	3
СП игн	66.52	1.07	15.68	1.84	3.43	0.16	1.51	3.86	3.78	2.15	6
СП агл	63.34	0.80	15.73	2.86	3.93	0.14	2.24	5.20	3.77	1.98	2
пл. Ш <sub>3</sub>	68.18	0.83	14.01	2.11	2.83	0.19	1.35	3.72	4.78	2.00	1

Примечание. Цифры для кальдер Стены-Соболиного - номера пирокластических потоков, буквы: в - верхняя часть потока, н-нижняя часть потока; цифры для кальдеры Большой Семячика - этапы развития кальдеры, буквы - индексы, обозначающие пирокластические потоки; буквенные обозначения для Узон-Гейзерной кальдеры: ЮП и СП - южное и северное поля, соответственно; пл. Ш<sub>3</sub> - наиболее молодой пирокластический поток плато Широкое; игн - игнимбриты, шл - шлаки, агл - агглютинаты.

**Краткая характеристика кальдер и связанных с ними пирокластических отложений, распространенных на центральном участке Восточной Камчатки.** Изучены пирокластические отложения (главным образом игнимбриты), связанные с тремя кальдерными комплексами, приуроченными, соответственно, к Карымскому, Большесемячичскому и Узонскому вулканическим центрам Вос-

точной Камчатки (рис. 1). Кальдеры этих центров располагаются цепочкой северо-восточного простирания и находятся на расстоянии примерно 20-25 км друг от друга. Общие сведения о рассматриваемых в статье кальдерах и составах связанных с ними игнимбритов приведены в таблицах 1, 2.

Среди кальдер Карымского центра рассматриваются игнимбриты, связанные с двумя слившимися



**Рис. 2.** Сводная стратиграфическая колонка игнимбритов, связанных с кальдерой Большой Семьячик (по [2], с уточнениями): 1 - ледниковые отложения (валунники, галечники); 2 - игнимбритоподобные породы андезитобазальтового состава; 3-8 - игнимбриты (3 - андезитового состава; 4 - андезиодацитового состава; 5 - дацитового состава; 6 - риодацитового состава; 7 - риолитового состава; 8 - нерасчлененные, изменяющиеся по составу от андезиодацитов до риолитов); 9 - слоистые пемзовые отложения (отложения пирокластических волн?); 10 - неспекшиеся пемзовые отложения; 11 - агломератовые шлаковые туфы; 12 - лавы андезитового, дацитового состава. R - зоны обратной полярности магнитного поля: I - Блейк (113 тыс. лет); II - Олби-Лашам (35-44 тыс. лет).

ся и образовавшимися, по-видимому, субодновремененно позднечетвертными кальдерами, срезающими постройки плиоцен-нижнечетвертных базальтовых вулканов Стена и Соболиный (далее называются - кальдеры Стены-Соболиного). В Большесемьячском центре рассматриваются игнимбриты, связанные с кальдерой, срезающей постройку среднечетвертного андезито-базальтового вулкана Борт (далее - кальдера Большой Семьячик). В Узонском центре рассматриваются игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессией (ВТД), которую мы далее тоже иногда условно называем кальдерой. Депрессия имеет сложное строение и срезает разнообразные вулканические постройки преимущественно среднечетвертного возраста [5]. Состав лав, слагающих эти вулканические постройки, также разнообразный: на западе это преимущественно базальты и андезитобазальты, на востоке - андезиты, дациты и риодациты. Ниже приводится краткая характеристика пирокластических отложений, связанных с названными кальдерными комплексами.

**Кальдеры Стены-Соболиного.** Наиболее полные разрезы игнимбритов этих кальдер обнажаются вблизи северных и северо-западных бортов депрессии и в левом борту долины реки Карымской, в 1.0 км ниже от устья ручья Углового, где три пирокластических потока последовательно перекрывают друг друга. Общая мощность отдельных пирокластических потоков варьирует от 10 до 50 м, уменьшаясь к периферии вулканического центра. Состав двух нижних пирокластических потоков андезиодацитовый (62-64% SiO<sub>2</sub>). Верхний, самый молодой пирокластический поток более дифференцированный по составу. В нижней его части отмечен слой риодацитов, которые выше по разрезу сменяются андезиодацитами. Отличительной особенностью игнимбритов кальдер Стены-Соболиного является преобладание в разрезах фациальных типов лавоподобного облака, что обусловлено высокой степенью спекания. В основании каждого пирокластического потока отмечена зона неспекшихся пемзовых туфов с обломками черного обсидианового стекла и прослоями грубозернистых песков и гравелитов.

**Кальдера Большой Семьячик.** Пирокластические потоки большей частью распространились на восток в сторону океана и в настоящее время слагают береговые обрывы Кроноцкого залива. В отдельных местах они вскрываются также к западу и северу от кальдеры. Игнимбриты, связанные с кальдерой Большой Семьячик, перекрывают карымские игнимбриты, распространенные к югу от кальдеры, и, в свою очередь, перекрываются узонскими игнимбритами. Разрез семьячкских игнимбритов состоит из серии пластов собственно игнимбритов, разделенных слоями пемзовых, озерных и ледниковых отложений (рис. 2). Отдельным

пластам игнимбритов в [2] были присвоены индексы, на которые приводятся ссылки ниже.

К наиболее ранним относятся игнимбриты риолитового, риодацитового (72-73%  $\text{SiO}_2$ ) состава (пласт I а), которые встречаются в основании береговых обрывов. Характерной их особенностью является присутствие фенокристаллов кварца. Риодацитовые игнимбриты перекрываются массивными игнимбритами андезитодацитового (63-64%  $\text{SiO}_2$ ) состава с дисковидными фьямме (пласт I б) и большим количеством пироксена. Тесная пространственная взаимосвязь их с кварцсодержащими игнимбритами позволяет относить эти породы к одному (первому) этапу игнимбриобразования. Ему предшествовало извержение риолитовых агломератовых пензовых туфов и умеренно спекшихся игнимбритов с кварцем и биотитом, которые встречаются на юге и западе Большесемячического центра. Ими, вероятно, и начинался процесс кальдерообразования в этой структуре.

Следующий (второй) этап отличается поступлением на поверхность пирокластических отложений преимущественно риодацитового (69-71%  $\text{SiO}_2$ ) состава. В отдельных разрезах они перекрывают игнимбриты пласта I б андезитодацитового состава. Выделяется, по крайней мере, три пирокластических потока (пласты II а, б, в), среди которых преобладают лавоподобные игнимбриты. Отмечается тенденция к снижению содержания кремнекислоты в последнем пирокластическом потоке. Второй этап заканчивается извержением игнимбриоподобных пород состава основного андезита, андезитобазальта (пласт II г). Третий этап начался после первой фазы верхнеплейстоценового оледенения. Первые пирокластические потоки (пласт III а) имели дацитовый состав (64-65%  $\text{SiO}_2$ ). Вблизи восточного борта депрессии они сменяются игнимбритами андезитового (61-62%  $\text{SiO}_2$ ) состава (пласт III б). Последние отличаются значительной неоднородностью: наряду с фьямме дацитового состава, в них присутствуют развальцованные включения шлаков андезитобазальтового состава.

**Узон-Гейзерная ВТД.** Игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерной депрессией, образуют два поля - северное и южное [3]. Ввиду молодого возраста, пирокластические потоки слабо эродированы, что позволяет восстановить направления их перемещения. Отложения северного поля (СП) простираются от границ депрессии к северу и северо-западу на расстояние до 40 км и достигают берегов Кроноцкого озера. Игнимбриты южного поля (ЮП) расчленяются на несколько рукавов, которые скатились в верховья рек Левая и Правая Жупанова и достигли долины реки Новый Семячик, распространившись от кальдеры на расстояние до 60 км. Обширный поток затек в кальдеру Большой Семячик, заполнив верхнюю часть

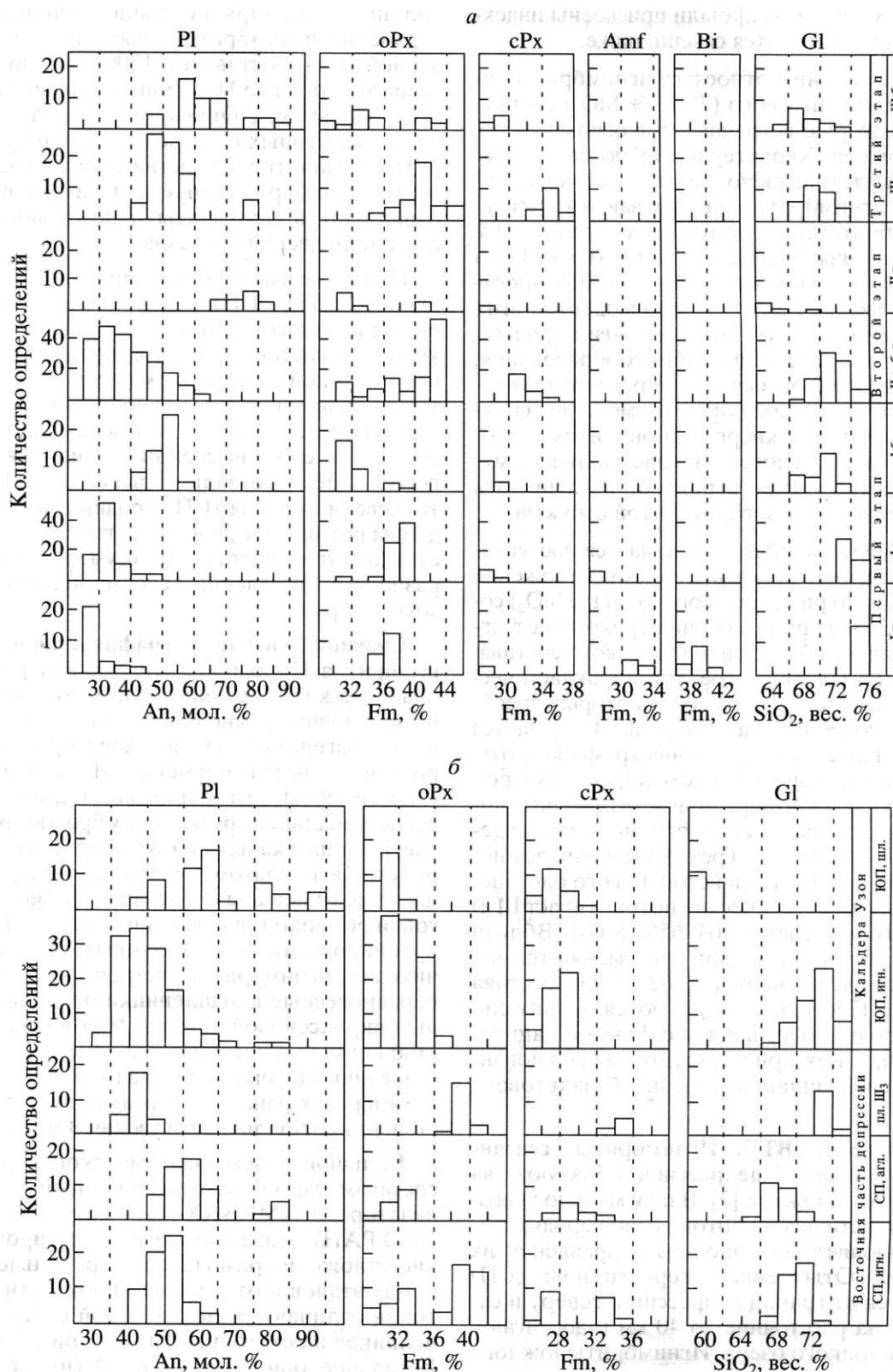
долины реки Старый Семячик. Площадь распространения игнимбритов, связанных с Узон-Гейзерной ВТД, составляет 1700 км<sup>2</sup>, мощность их меняется от 5 до 50 м. Узонские игнимбриты имеют, в основном, дацитовый состав, однако, в основании некоторых разрезов отмечены реоигнимбриты риодацитового состава. Вблизи северного и восточного бортов депрессии с игнимбритами ассоциируют агглютинаты андезитового состава, слагающие верхи разрезов.

Наиболее глубоко эродированы игнимбриты южного поля (ЮП). Их полные разрезы были описаны на юго-восточных склонах плато Широкое [7]. В составе этого комплекса, представленного мощной толщей пемзовых агломератовых туфов, вложенных в палеодолину, выделяются три пласта игнимбритов и маломощные слои в различной степени спекшихся шлаков андезитового и андезитобазальтового состава. Игнимбриты северного поля (СП) эродированы слабо, подошва потоков нигде не вскрыта. Обычно выделяется два-три пласта слабо и умеренно спекшихся разностей, разделенных слоями неспекшихся пемзовых туфов.

**Сравнительная петрография и минералогия игнимбритов.** Породообразующие минералы в пирокластических отложениях рассмотренных кальдер представлены, в основном, одинаковым минеральным парагенезисом: плагиоклаз, орто- и клинопироксен, магнетит, ильменит. Исключением являются пемзовые агломератовые и слабоспекшиеся туфы начальной фазы игнимбриобразующего извержения в кальдере Большой Семячик, где наряду с плагиоклазом присутствует кварц, а темноцветные минералы представлены биотитом и роговой обманкой (в последних порциях появляется ортопироксен). В андезитовых разностях семячических игнимбритов встречаются единичные неравновесные вкрапленники оливина, окруженные пироксеновой каймой. Наименьшее количество кристаллической фазы отмечено в пирокластике риодацитового состава (от 8-10 до 15-20%); в игнимбритах дацитового и андезитового составов степень кристалличности увеличивается до 28-30%.

Большой объем аналитического материала по составам игнимбритов, полученный на микроанализаторе "САМЕВАХ" (Институт вулканологии ДВО РАН), свидетельствует, что пирокластические отложения разных кальдер, кальдерообразующих этапов и отдельных пирокластических потоков отличаются между собой составом вкрапленников и остаточных стекол (рис. 3, табл. 3-8). Детальное описание минералогических особенностей игнимбритов отдельных кальдер приводится в [2, 3, 7, 8]. Здесь будет дан их сравнительный анализ.

**Плагиоклаз** преобладает во всех типах игнимбритов. Фенокристаллы (0.8-1.5 мм) и микро-



**Рис. 3.** Распределение составов фенокристаллов и остаточных стекол в пирокластических отложениях, связанных с кальдерой Большой Семячик (*а*), Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессией (*б*), кальдерами Стены-Соболиного (*в*). Pl - плагиоклаз; oPx - ортопироксен; cPx - клинопироксен; Amf - амфибол; Bi - биотит; Gl - остаточное стекло; An - анортитовый минал в плагиоклазах, мол. %; Fm - степень железистости феррических минералов, ат. %. Индексы пирокластических потоков см. в тексте.

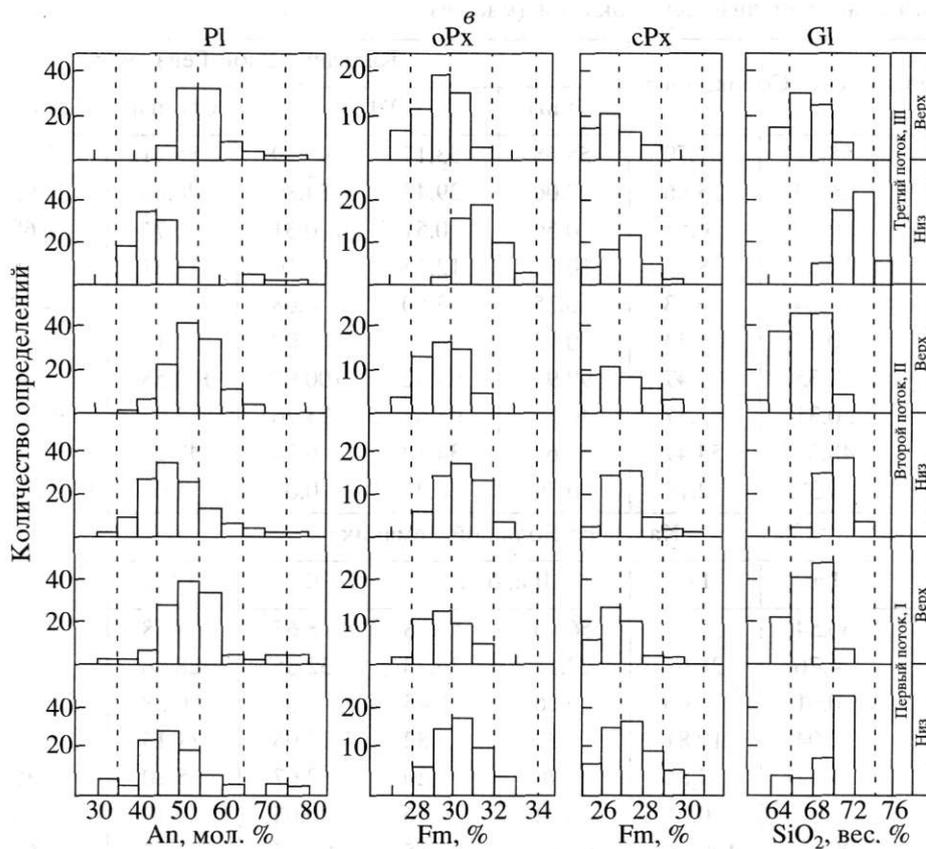


Рис. 3. Окончание.

вкрапленники (100-350 мкм) не отличаются заметно по составу. Они обычно не зональны или слабо зональны, часто сохраняют первичные кристаллографические очертания. Процент обломочных кристаллов незначителен; доля их увеличивается в разностях игнимбритов с эвтакситовыми текстурами и минимальна в реоигнимбритах и лавоподобных разностях. Состав плагиоклаза определяется, в основном, составом расплава, не отличаясь значительно в игнимбритах разных кальдер, но близких по содержанию кремнекислоты. Для начальных этапов игнимбриитообразующих извержений характерно унимодальное распределение составов этого минерала; в последующих, более основных порциях пирокластических потоков - би- и полимодальное, с широким диапазоном составов (рис. 3, табл. 3).

В игнимбритах риолитового и риодацитового состава вкрапленники представлены преимущественно андезином (An 30-40), дацитового - андезин-лабрадором (An 45-58). В разрезах игнимбритов кальдер Стены-Соболиного, отличающихся значительной мощностью, были проанализированы пробы из верхней и нижней частей разреза. Оказалось, что в первом и втором пирокластических потоках при сравнительно однородном валовом химическом составе (низкокремнистые даци-

ты) и узком диапазоне составов вкрапленников в нижней части разрезов преобладает андезин, а в верхней - Лабрадор (рис. 3). В игнимбритах андезитового состава с полимодальным распределением составов плагиоклаза большая часть фенокристаллов представлена лабрадорбитовнитом (An 55-65), однако, наряду с этим присутствуют как более кислые, так и более основные разности этого минерала. Высококальциевые составы (An 70-90) фиксируются в ядрах и промежуточных зонах фенокристаллов, реже в виде вкрапленников и микролитов.

**Пироксен** в игнимбритах является главным темноцветным минералом и представлен ромбической и моноклинной разновидностью. Распределен он в пирокластических потоках крайне неравномерно, увеличиваясь от 0.5-1.5% в риодацитах до 2.5-3.0% в дацитах; часто встречается в ассоциации с плагиоклазом и титаномagnetитом. Ортопироксен (гиперстен) отличается значительными вариациями железистости (рис. 3, 4; табл. 4). Наиболее широкий диапазон железистости (28-47%) отмечен в пироксенах игнимбритов кальдеры Большой Семячик [2, 8]. На протяжении каждого этапа происходит смена железистого пироксена в риодацитах и дацитах, которыми начинались игнимбриитообразующие извержения,

Таблица 3. Представительные анализы плагиоклазов (мас. %)

Компонент	Кальдеры Стены-Соболиного			Кальдера Узон-Гейзерная					
				ЮП игн.	ЮП шл.		СП игн.	СП агл.	пл. Ш <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub>	56.07	55.22	57.79	55.68	53.17	45.59	55.41	53.24	58.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.42	26.93	25.86	27.06	29.42	34.89	28.28	28.93	25.40
FeO	0.57	0.70	0.55	0.56	0.51	0.31	0.71	0.68	0.26
CaO	11.19	10.62	8.25	10.17	12.55	18.60	11.31	11.87	7.92
Na <sub>2</sub> O	4.45	5.64	5.73	6.35	3.60	0.68	4.66	4.40	6.45
K <sub>2</sub> O	0.33	0.24	0.34	0.15	0.04	0.00	0.18	0.17	0.23
Сумма	100.03	99.35	98.47	99.97	99.32	100.08	100.58	99.69	98.46
An	56.98	50.31	43.37	46.65	65.67	93.76	56.67	59.22	38.85
Ab	41.01	48.32	54.47	52.62	34.10	6.24	42.24	39.72	58.79
Or	2.01	1.37	2.16	0.79	0.24	0.00	1.09	1.06	1.37

Кальдера Большой Семячик									
	І п	І а	І б	І а, б, в,		І г	ІІ а	ІІ б	
SiO <sub>2</sub>	60.59	60.54	55.41	56.76	55.78	48.65	53.88	53.76	46.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.42	24.76	28.64	27.13	26.73	32.55	28.66	29.23	34.42
FeO	0.15	0.01	0.60	0.26	0.45	0.64	0.58	0.71	0.66
CaO	3.31	7.04	10.81	8.33	9.82	15.06	11.15	11.33	17.33
Na <sub>2</sub> O	8.90	7.12	4.84	6.70	6.20	2.67	5.10	4.36	1.45
K <sub>2</sub> O	0.61	0.50	0.16	0.24	0.16	0.05	0.19	0.16	0.00
Сумма	99.07	99.82	100.56	99.94	99.15	99.63	99.62	99.64	100.35
An	23.98	34.33	54.74	41.56	46.25	75.51	54.09	58.37	86.84
Ab	72.71	62.79	44.30	57.08	52.84	24.19	44.80	40.63	13.16
Or	3.31	2.88	0.96	1.36	0.91	0.31	1.11	1.00	0.00

Примечание. FeO – суммарное железо; остальные услов. обозн. см. табл. 2.

магнезиально-железистыми и магнезиальными членами - в андезитах завершающих стадий. Если в сравнительно низкокремнистых игнимбригах каждого из трех игнимбригообразующих этапов железистость гиперстенов имеет близкие значения (28-34%) (что характерно и для других кальдер), то в высококремнистых отложениях она возрастает по мере формирования структуры.

Степень железистости ортопироксенов Узон-Гейзерной депрессии варьирует в более узком диапазоне (28-41%). При этом пироксены пирокластических отложений, развитых к югу и северу от депрессии, значительно отличаются по этому показателю, который составляет, соответственно, 31-34 и 38-41% [3,7,8]. Пироксен из агглютинатов и спекшихся шлаков в разрезах узонских игнимбритов представлен магнезиальным гиперстеном и железистым бронзитом (28-30%). Необходимо отметить, что редкие вкрапленники магнезиальных пироксенов встречаются и в игнимбригах.

Наиболее низкой железистостью (28-31%) отличаются ортопироксены игнимбритов, связан-

ных с кальдерами Стены-Соболинского в Карымском вулканическом центре. В сравнительно однородных андезитодацитовых пирокластических потоках сохраняется тенденция изменения состава минералов-вкрапленников по разрезу, отмеченная ранее для вкрапленников плагиоклаза: в основании разрезов преобладают более железистые гиперстены, а вверх по разрезу возрастает доля кристаллов повышенной магнезиальности. Эти различия в степени железистости пироксенов более выражены в последнем пирокластическом потоке, где в основании выделяется слой игнимбритов риодацитового состава.

Клинопироксен в игнимбригах представлен авгитом. В нем сохраняется отмеченное ранее для ортопироксенов соотношение железистости во вкрапленниках разных кальдерных комплексов и кальдерообразующих этапов (рис. 3, табл. 5). В авгитах семячских игнимбритов диапазон железистости наиболее широк (27-42%), достигая самых высоких значений в риодацитах и дацитах в начале второго и третьего этапов. В клинопирок-

Таблица 4. Представительные анализы ортопироксенов (мас. %)

Компонент	Кальдеры Стены-Соболиного			Кальдера Узон-Гейзерная				
				ЮП игн	ЮП шл	СП игн	СП агл	пл. ШЗ
SiO <sub>2</sub>	53.92	54.62	53.94	54.15	53.89	53.26	53.43	53.22
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.36	0.24	0.17	0.41	0.27	0.23	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.06	1.10	0.47	0.54	1.73	0.55	0.63	0.35
FeO	17.43	17.88	18.66	19.39	17.48	22.55	20.24	22.96
MnO	0.98	1.17	1.50	1.30	0.43	0.95	0.83	1.55
MgO	24.14	24.05	23.63	22.58	23.90	20.86	22.34	19.75
CaO	1.52	1.66	1.28	1.46	1.90	1.77	1.70	1.52
Сумма	99.40	100.89	99.79	99.59	99.63	100.26	99.41	99.51
Wo	3.13	3.39	2.63	3.05	3.90	3.66	3.94	3.23
En	68.94	68.17	67.48	65.43	68.14	59.97	63.97	58.57
Fs	27.93	28.44	29.89	31.53	27.96	36.37	32.52	38.20
Fm	28.84	29.44	30.69	32.52	29.10	37.75	33.70	39.48

Кальдера Большой Семячик								
	Ип	Ia	Iб	II а, б	IIв	IIг	IIIа	IIIб
SiO <sub>2</sub>	52.96	53.25	54.43	51.26	51.99	52.79	51.11	53.68
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.08	0.22	0.07	0.16	0.26	0.22	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	0.38	0.63	0.23	0.44	1.09	0.42	0.61
FeO	22.36	23.05	19.91	25.44	23.43	18.37	26.53	20.05
MnO	1.48	0.94	0.80	2.00	1.46	0.49	1.21	0.44
MgO	21.26	22.21	23.36	18.68	19.60	23.80	17.52	24.02
CaO	1.09	1.03	1.48	1.27	1.46	1.70	1.75	1.40
Сумма	99.56	99.96	100.82	98.97	98.65	98.51	98.76	100.31
Wo	2.27	2.12	2.98	2.69	3.10	3.45	3.75	2.77
En	61.46	60.81	65.63	55.17	58.00	67.38	52.04	66.21
Fs	36.27	37.08	31.39	42.15	38.90	29.17	44.22	31.02
Fm	37.11	37.88	32.35	43.31	40.14	30.21	45.94	31.90

Примечание. Услов. обозн. см. табл. 2, 3.

Таблица 5. Представительные анализы клинопироксенов (мас. %)

Ком- понент	Кальдеры Стены-Соболиного			Кальдера Большой Семячик						Кальдера Узон-Гейзерная					
				И п	I а	I б	II а, б, в	II г	III а	III б	ЮП игн.	ЮП шл.	СП игн.	СП агл.	пл. ШЗ
SiO <sub>2</sub>	52.01	52.38	52.56	53.56	52.95	51.79	52.97	52.39	51.91	52.44	53.21	53.22	51.86	51.88	51.93
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.54	0.45	0.15	0.13	0.43	0.28	0.31	0.46	0.38	0.17	0.43	0.37	0.44	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.40	1.72	1.24	0.75	0.58	1.64	0.97	1.26	1.19	1.35	0.79	1.34	1.08	1.70	0.83
FeO	9.91	9.54	9.00	8.99	9.44	9.82	11.18	9.72	12.74	9.89	9.77	8.56	12.44	10.54	12.97
MnO	0.26	0.53	0.67	0.62	0.44	0.39	0.84	0.34	0.65	0.43	0.65	0.37	0.64	0.33	0.89
MgO	14.76	14.99	14.63	13.64	14.05	14.39	13.98	13.96	13.77	14.01	13.77	14.78	13.04	14.70	13.09
CaO	19.32	20.39	20.61	21.47	21.63	20.15	19.69	20.47	18.89	20.21	20.38	20.84	19.15	19.86	19.20
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.06	0.23	0.38	0.27	0.30	0.30	0.29	0.28	0.20	0.32	0.20	0.10	0.19	0.02
K <sub>2</sub> O	0.08	0.01	0.04	0.02	0.08	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.73	100.15	99.44	99.57	99.58	98.95	100.15	98.76	99.89	98.90	99.06	99.75	98.67	99.67	99.22
Wo	40.60	41.87	42.95	45.22	44.55	42.13	41.15	43.11	39.37	42.62	43.20	43.35	40.75	40.92	40.39
En	43.15	42.83	42.42	40.00	40.27	41.86	40.63	40.90	39.92	41.11	40.60	42.76	38.59	42.14	38.30
Fs	16.25	15.30	14.63	14.78	15.18	16.02	18.21	15.99	20.72	16.27	16.17	13.89	20.66	16.94	21.31
Fm	27.35	26.31	25.62	27.00	27.38	27.68	30.90	28.10	34.17	28.36	28.48	24.51	34.87	28.94	35.74

Примечание. Услов. обозн. см. табл. 2, 3.

Таблица 6. Представительные составы биотита и амфибола из игнимбритов (мас. %)

Минерал, поток	Компонент											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Сумма	Fm
Bi, I п	39.42	5.41	14.00	14.68	0.23	13.26	0.11	0.10	8.59	4.08	99.92	38.5
Amf, I п	49.50	3.07	5.64	12.85	1.01	14.67	10.77	1.45	0.25	2.04	98.33	33.0
Amf, ЮП	48.60	0.89	5.42	12.55	0.45	15.87	10.70	2.03	0.80	2.01	99.08	31.0

Примечание. Bi – биотит, Amf – амфибол; остальные услов. обозн. см. табл. 2, 3.

Таблица 7. Представительные анализы пар железотитанистых окислов (мас. %), оценка температур кристаллизации и летучести кислорода

Компонент	Кальдеры		Кальдера Узон-Гейзерная							
	Стены-Соболиного		ЮП игн		ЮП игн		ЮП игн		пл. Ш <sub>3</sub>	
TiO <sub>2</sub>	11.04	42.04	12.30	44.13	11.33	42.98	12.12	42.24	12.05	46.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.93	0.00	2.28	0.35	2.20	0.41	2.25	0.24	1.54	0.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.04	20.47	44.04	17.41	44.46	20.12	43.23	21.38	43.66	10.78
FeO	39.96	34.11	39.27	35.64	39.19	33.55	39.39	32.25	40.69	39.18
MgO	1.09	1.64	1.96	2.07	2.10	2.98	2.16	3.22	0.45	0.91
MnO	0.44	0.73	0.80	0.43	0.89	0.96	0.83	0.72	0.89	1.25
T°C	935.7		885.8		933.9		965.8		817.7	
fO <sub>2</sub>	10.7		11.8		10.5		10.0		13.5	

Кальдера Большой Семячик										
	I п		I а		I б		II а		III а	
TiO <sub>2</sub>	7.61	41.47	9.64	44.35	10.17	42.37	12.58	45.20	11.17	42.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.33	0.22	0.69	0.03	1.11	0.00	0.76	0.04	0.82	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52.33	21.22	50.11	16.48	50.06	19.50	44.80	15.60	48.42	20.31
FeO	36.74	34.92	38.45	36.43	37.89	34.33	39.40	34.79	38.42	31.34
MgO	0.37	0.78	0.67	1.27	0.88	1.39	1.43	2.52	0.88	2.81
MnO	0.75	1.07	0.75	1.19	0.60	1.20	1.27	1.34	0.82	1.31
T°C	858		811.7		869.7		839.8		882	
fO <sub>2</sub>	11.6		12.9		11.7		12.6		11.5	

Примечание. Первый анализ в паре - титано-магнетит, второй - ильменит; остальные услов. обозн. см. табл. 2.

сенах узонских и карымских игнимбритов степень железистости ниже и находится в пределах, соответственно, 27-36 и 26-30%.

Из малых элементов в пироксенах наибольший интерес представляет распределение марганца. Отмечена прямая зависимость содержания этого компонента от валового химического состава игнимбритов [2]. Оно варьирует в пределах 1.3-2.0% MnO в риодацитах, 1.2-0.8% - в дацитах и 0.7-0.4% - в андезитах и андезитобазальтах пирокластических отложений кальдерных комплексов. В игнимбритах кальдер Стены-Соболиного пироксены из разных частей разреза, незначительно отличаясь степенью железистости, существенно различаются концентрацией марганца. Она

выше в более железистых пироксенах из игнимбритов в основании разрезом.

В клинопироксенах концентрация марганца ниже, тем не менее, также прослеживается изменение ее в зависимости от состава игнимбритов, а именно, от 0.7-1.0% в риодацитах до 0.27% в андезитобазальтах.

Зависимость между железистостью и концентрацией марганца в ортопироксенах использовалась нами в качестве значимого корреляционного признака при расчленении пирокластических потоков [2,7,8]. На диаграмме Fm-MnO выделяются обособленные поля, в которые группируются фигуративные точки пироксенов отдельных кальдер, кальдерообразующих этапов и пирокластичес-

Таблица 8. Представительные анализы остаточных стекол игнимбритов (мас. %)

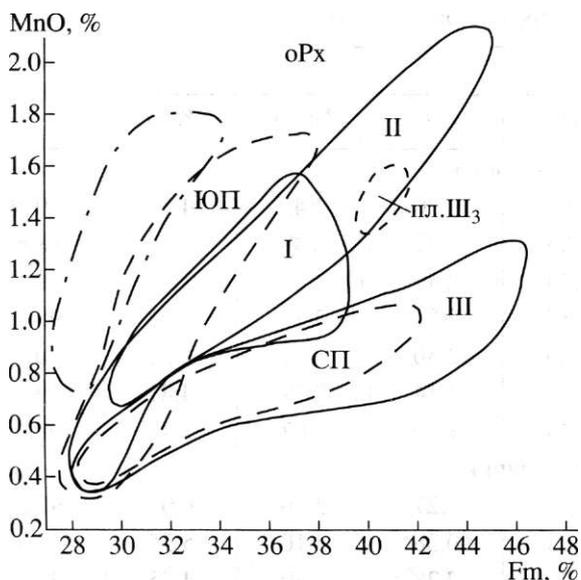
Пирокластические потоки	Компонент								Сумма
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
Кальдеры Стены-Соболиного									
I	68.62	0.75	14.59	3.64	0.83	2.30	4.45	4.32	99.50
	66.36	0.72	15.01	3.75	1.03	2.27	2.89	6.64	98.67
II	68.90	0.82	14.60	4.16	0.73	2.49	4.83	3.23	99.76
	66.09	0.82	14.83	4.38	1.15	2.91	3.39	6.22	99.79
III в	69.31	0.80	13.80	4.61	0.60	2.50	5.81	2.61	100.04
	65.43	1.01	14.99	4.75	1.34	3.54	3.37	4.81	99.24
III н	71.52	0.50	13.63	2.86	0.44	1.59	4.07	3.48	98.09
Кальдера Большой Семячик									
I п	76.34	0.00	11.06	0.30	0.00	0.27	3.00	6.03	97.54
I а	74.80	0.00	12.03	0.52	0.05	0.36	3.10	5.35	96.98
I б	72.01	0.51	12.80	2.30	0.75	2.28	3.40	4.75	99.50
II а	74.70	0.01	12.40	0.37	0.00	0.44	5.83	3.35	97.10
II б	74.87	0.18	12.23	0.94	0.14	0.68	4.22	4.54	97.77
II в	73.89	0.33	13.50	2.10	0.26	1.38	4.58	2.54	98.58
II г	59.50	1.01	15.08	8.29	2.94	6.70	4.00	1.42	98.98
III а	71.83	0.52	13.68	3.58	0.41	2.43	4.50	2.77	99.72
III б	67.70	0.65	14.63	5.08	1.46	3.23	5.02	1.69	99.46
Кальдера Узон-Гейзерная									
ЮП игн	72.12	0.50	13.82	2.27	0.52	1.68	2.51	5.44	98.86
	70.09	0.86	13.84	2.96	0.75	2.61	4.06	2.90	98.32
ЮП шл	60.82	1.05	15.63	8.71	2.24	5.63	3.70	2.33	100.11
СП игн	71.06	0.63	13.87	3.94	0.60	1.80	2.60	3.30	97.80
	70.30	0.74	13.62	3.87	0.64	2.14	4.22	3.71	99.24
СП агл	68.40	0.78	14.35	4.52	0.94	2.43	4.56	3.28	99.26
пл. Ш <sub>3</sub>	72.92	0.38	13.52	2.57	0.33	1.71	4.99	2.62	99.04

Примечание. Условн. обозн. см. табл. 2, 3; два анализа означают две разности остаточных стекол.

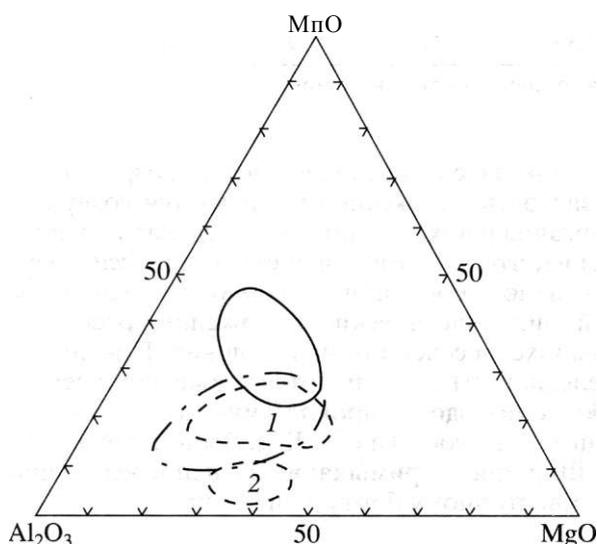
ких потоков (рис. 4). На основе этой зависимости были "привязаны" отдельно расположенные фрагменты пирокластических потоков разных этапов развития кальдеры Большой Семячик [2]. Для игнимбритов, связанных с Узон-Гейзерной депрессией, было установлено, что основной их объем связан с западной частью депрессии - кальдерой Узон. К ним относятся два пирокластических потока (вскрытых в разрезах плато Широкого), скатившихся в южном направлении: один - по долине реки Новый Семячик, другой - в верховья реки Правая Жупанова [7]. Детальные исследования последних лет показали, что слабоспекшиеся игнимбриты, распространенные к северу от депрессии (верхи разреза), возможно, также связаны с кальдерой Узон - ортопироксены в них отличаются низкой железистостью и высокой концентрацией марганца. Вниз по разрезу

эти показатели резко меняются: возрастает железистость пироксенов и снижается содержание марганца в них. Это позволяет сделать предположение, что с восточной частью депрессии связан, очевидно, небольшой объем более ранних порций пирокластических отложений, распространившихся в северном направлении. Повышенной железистостью отличаются также пироксены наиболее молодого пирокластического потока риодацитового состава (пл. Ш<sub>3</sub>), бронирующего плато Широкое и примыкающего непосредственно к юго-восточному борту депрессии.

А м ф и б о л является редким минералом в игнимбритах. В виде единичных вкрапленников он присутствует в пемзовых агломератовых туфах, в разрезах пирокластики, связанной с Узон-Гейзерной ВТД. В семячских игнимбритах амфибол встречается в умеренно спекшихся пемзовых ту-



**Рис. 4.** Зависимость степень железистости-концентрация марганца в ортопироксенах пирокластических отложений. Овалами очерчены ареалы распределения полей фигуративных точек. Сплошной линией - ареалы распределения полей фигуративных точек пироксенов пирокластических отложений кальдеры Большой Семячик (римские цифры - этапы кальдерообразования). Пунктирной линией - ареалы распределения полей фигуративных точек пироксенов пирокластических отложений Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии (ЮП и СП - пирокластические потоки, расположенные к югу и северу от депрессии, пл. Ш<sub>3</sub> - наиболее молодой пирокластический поток риодацитового состава, вскрывающийся на юго-восточном борту депрессии). Штрих-пунктирной линией - ареалы распределения полей фигуративных точек пироксенов пирокластических отложений кальдер Стены-Соболиного.



**Рис. 5.** Соотношение  $Al_2O_3$ -MnO-MgO в титаномагнетитах (вкрапленниках и кристаллических включениях) из пирокластических отложений. Ареалы распределения полей фигуративных точек см. на рис. 3: 1 - ареал распределения титаномагнетитов в игнимбритах; 2 - то же в агглютинатах и спекшихся шлаках.

фах первого этапа (до 1.0%), где он кристаллизуется совместно с биотитом и представлен обыкновенной роговой обманкой с железистостью порядка 31-33% и низкой (5-6%) глиноземистостью (рис. 3, табл. 6).

Биотит развит, как уже было отмечено выше, только в пемзовых агломератовых и слабоспекшихся туфах, извергнутых в начальный этап формирования кальдеры Большой Семячик. Количество биотита меняется от 2-3% в пемзовых агломератовых туфах до 1.0% в умеренно спекшихся разностях. Состав минерала довольно однородный: железистость колеблется в пределах 37-41% (среднее 38.5%), содержание калия - 8-9%, титана - 3-4% (рис. 3, табл. 6). Биотит и роговая обманка образуют иногда срастания с плагиоклазом, в то время как редкие вкрапленники ортопироксена в более поздних порциях пемзовых туфов контактируют только со стеклом основной массы.

Рудные минералы представлены, в основном, титаномагнетитом, в меньшей степени ильменитом. Они кристаллизуются одновременно с темноцветными минералами и образуют в них включения. Титаномагнетит часто содержит фигуры распада, однако, наряду с этим, встречаются и однородные зерна, особенно в слабоспекшихся разностях игнимбритов. Концентрация титана во вкрапленниках варьирует от 8 до 12% и мало зависит от состава пород (табл. 7). Исключением являются титаномагнетиты из риолитовых пемз плинианской фазы кальдеры Большой Семячик, которые отличаются низкой титанистостью (4-7%). Это связано, по-видимому, с близкой во времени кристаллизацией содержащих титан биотита и ильменита. На рис. 5 показано соотношение  $Al_2O_3$ -MnO-MgO в титаномагнетитах (вкрапленники и кристаллические включения) из игнимбритов разных кальдер. Фигуративные точки этого минерала (как и пироксенов) образуют совокупности, характерные для отдельных кальдер, что может также рассматриваться как корреляционный признак [8]. Прежде всего, обращает на себя внимание влияние состава игнимбритов на перераспределение элементов. С ростом кремнекислотности игнимбритов во вкрапленниках титаномагнетитов уменьшается содержание глинозема, магния и увеличивается концентрация марганца. Наиболее высокое содержание последнего (до 1.3%) отмечено во вкрапленниках рудного минерала из игнимбритов I п и I а кальдеры Большого Семячика. От риолитов к дацитам в магнетитах этой структуры возрастает относительное содержание магния и понижается - марганца. В игнимбритах кальдер Стены-Соболиного и Узон-Гейзерной более определяющими параметрами являются глиноземистость и магниальность титаномагнетитов. Вкрапленники и кристаллические

включения в низкокремнистых игнимбритах отличаются повышенной глиноземистостью (1.5-3.0%). При увеличении кремнекислотности пирокластических отложений она резко снижается в титаномагнетитах при умеренном возрастании марганца.

Вкрапленники рудного минерала из агглютинов и спекшихся шлаков андезитового и андезитобазальтового составов в разрезах узонских игнимбритов характеризуются умеренным содержанием глинозема и магния и самыми низкими концентрациями марганца.

Ильменит является относительно редким минералом в игнимбритах. Концентрация титана изменяется от 43 до 45% (табл. 7). Привлекает внимание повышенное содержание ильменита в виде кристаллических включений в пироксене из поздних слабоспекшихся игнимбритов, связанных с кальдерой Узон (южное поле). В таких пироксенах, наряду с рудными минералами, встречаются редкие включения сульфидов (пирротин).

Акцессорные минералы представлены апатитом и цирконом. Апатит обычно встречается в виде кристаллических включений в рудных и магнезиально-железистых минералах, и только в дацитовых игнимбритах третьего этапа кальдеры Большой Семячик он образует самостоятельные микровкрапленники в основной массе. Циркон очень редок. Он образует кристаллические включения в биотитах и, в меньшей степени, в амфиболах из пемзовых туфов I п.

Остаточные стекла в игнимбритах представлены микрофьямме и пепловыми частичками. Состав их меняется от 60 до 76%  $\text{SiO}_2$  и, в основном, определяется валовым составом игнимбритов. При этом часто отмечается их неоднородность, выраженная в присутствии фрагментов стекол разного состава (рис. 3, табл. 8). Особенно это характерно для карымских игнимбритов. Наиболее стабильными компонентами в стеклах игнимбритов являются железо, алюминий, магний, титан. Соотношение щелочей в них вследствие процессов девитрификации существенно меняется. Высококремнистые (77-76%  $\text{SiO}_2$ ) остаточные стекла отмечены в игнимбритах I п и I а кальдеры Большой Семячик. Они отличаются наиболее низкими (до 1%) концентрациями пересчитанных выше стабильных элементов. С понижением кремнекислотности игнимбритов в остаточных стеклах повышаются глиноземистость и содержание железа, магния, кальция и титана. Отмечены отличия в распределении ряда элементов в остаточных стеклах отдельных кальдер. Прежде всего, это касается железа. Среди низкокремнистых риодацитовых стекол из игнимбритов дацитового состава максимальные значения суммарного железа (3-5%) наблюдаются в оста-

точных стеклах семячских игнимбритов III а и узонских игнимбритов в основании разрезов северного поля. Повышенная железистость стекол согласуется с высокой железистостью вкрапленников пироксена из этих игнимбритов. В спекшихся шлаках андезитобазальтового состава остаточные стекла имеют андезитовый состав (60-64%  $\text{SiO}_2$ ), а концентрация железа, магния и титана в них достигает, соответственно, 6.0, 2.0 и 1.0%.

**Заключение.** Рассмотренные кальдеры (Стены-Соболиного, Большой Семячик и Узон-Гейзерная) образуют цепочку, вытянутую в северо-восточном направлении. Существующие на настоящее время датировки свидетельствуют о последовательном омоложении возраста структур в направлении с юго-запада на северо-восток. Пирокластические отложения, связанные с кальдерами, последовательно перекрывают друг друга. Все это указывает на миграцию процесса кальдерообразования в позднем плейстоцене на данном участке в северо-восточном направлении. При этом отмечается также тенденция к уменьшению объема пирокластических отложений, связанных с отдельными кальдерами. Формирование кальдер в каждом вулканическом центре происходило в несколько этапов и продолжалось, согласно существующим датировкам, в течение порядка 40 тыс. лет.

Все пирокластические потоки имеют зональное строение как по составу, так и по текстурным особенностям. Преобладают пемзовоигнимбритовые отложения дацитового состава. В основании разрезов обычно развиты более кислые (риодациты) и менее спекшиеся разности пирокластических отложений. Для более ранних кальдер (Стены-Соболиного и Большой Семячик) характерны литоидные лавоподобные игнимбриты, что определяется, очевидно, в первую очередь, большей мощностью пирокластических потоков и объемом выброшенного материала. Пемзово-игнимбритовые отложения Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии очень отличаются по степени спекания, которая варьирует от слабоспекшихся пемзовых агломератовых туфов до обсидианоподобных реоигнимбритов. Это объясняется строением пирокластических потоков, состоящих обычно из нескольких последовательно извергавшихся порций пирокластического материала, и незначительной общей мощностью потоков. Реоигнимбриты залегают в основании разрезов.

Кальдера Большой Семячик отличается наиболее сложной историей формирования, широким диапазоном составов пирокластических отложений и возрастанием степени их неоднородности по мере развития структуры.

На основании изучения минеральных ассоциаций игнимбритов было установлено, что отложе-

ния разных кальдер и этапов кальдерообразования отличаются составом вкрапленников и остаточных стекол. Особо значимым корреляционным признаком оказалась железистость пироксенов (в большей степени ортопироксенов). Наиболее широким диапазоном железистости (28–47%) отличаются пироксены игнимбритов кальдеры Большой Семячик. Этот показатель возрастает во вкрапленниках по мере формирования кальдеры. Степень железистости пироксенов узонских и карымских игнимбритов существенно ниже и варьирует в более узком диапазоне (соответственно, 28–41 и 28–31%). Важным показателем является концентрация MnO в пироксенах. Она возрастает в более кислых разностях игнимбритов. Маложелезистые пироксены с низкой концентрацией марганца обычно связаны со шлаками андезитобазальтового состава и встречаются в качестве неравновесных минералов в игнимбритах. Пирокластические отложения разных кальдер отличаются также соотношением  $Al_2O_3$ –MnO–MgO во вкрапленниках титаномагнетита, не подвергшихся распаду, что также может являться корреляционным признаком при расчленении потоков игнимбритов. Все эти различия в составах пироксенов и титаномагнетитов из отложений разных кальдер обусловлены, очевидно, как составом расплава, так и различной окислительно-восстановительной обстановкой в магматических резервуарах. Рассмотрению этих вопросов посвящена вторая часть статьи.

Авторы выражают благодарность А.В. Колоскову за ценные советы, В.М. Чубарову и Т.М. Философовой за обеспечение качественного микронзондового анализа и А.Д. Чернявской за помощь в оформлении графических материалов.

Работа выполнена по проекту РФФИ (99-05-65371).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Под ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1980. 292 с.
2. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриды кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5–6. С. 34–50.
3. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриды Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии, Камчатка: сопоставление разрезов, составов, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 15–33.
4. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
5. Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 94–137.
6. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Вулкан Большой Семячик // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 144–157.
7. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Кальдеры и игнимбриды Узон-Семячикского района, Камчатка: новые данные по результатам изучения разрезов плато Широкое // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 41–60.
8. Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карташева Л.А. Расчленение игнимбридов и реконструкция масштабов игнимбритообразующих извержений // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 3–18.
9. Селянгин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитовой серии в связи с эволюцией вулcano-структур. М.: Наука, 1987. 146 с.
10. Уткин И.С., Федотов С.А., Уткина Л.И. Об эволюции и размерах магматических очагов вулканов // Вулканология и сейсмология. 1999. № 3. С. 7–18.
11. Федотов С.А. О входных температурах магм, образовании, размерах и эволюции магматических очагов вулканов // Вулканология и сейсмология. 1980. № 4. С. 3–29.
12. Флоренский И.В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 102–106.
13. Akihiko T., Eiichi T. Reconstruction of an evolving magma chamber beneath Usu volcano Since the 1663 eruption // J. Petrol. 1995. V. 36. № 3. P. 617–636.
14. Geist D., Howard K.A., Larson P. The Generation of Oceanic Rhyolites by crystal Fractionation: the Basalt-Rhyolite Association at Volcan Alcedo, Galapagos Archipelago // J. Petrol. 1995. V. 36. № 4. P. 965–982.
15. Gudmundsson A. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1995. V. 64. P. 1–22.
16. Hildreth W. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 10153–10192.
17. Laube N., Springer J. Crustal melting by ponding of mafic magmas: A numerical model // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1998. V. 81. № 12. P. 19–35.
18. Lipman P.W. The roots of ash flow calderas in western North America: Windows into the tops of granitic batholiths // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 8801–8841.
19. Marsh B.D. Magma chambers // Ann. Rev. Earth and Planet. Sci. V. 17. Palo Alto (Calif.). 1989. P. 439–474.
20. Weibe R.A. Silicic magma chambers as traps for basaltic magmas: The Cadillac Mountain intrusive complex, Mount Desert, Maine // J. Geol. 1994. V. 102. № 4. P. 423–437.

**Several Evolution Paths of Upper Crustal Magma Chambers  
in the Caldera Complexes of Eastern Kamchatka.  
Part I. Structure of Pyroclastic Flows. A Comparative Mineralogy**

**E. N. Grib, V. L. Leonov**

*Institute of Volcanology, Far East Division, Russian  
Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

A comparative analysis is presented of the evolution of caldera-producing phases for a number of calderas in eastern Kamchatka. The first section is a brief discussion of the geologic structure of calderas and associated pyroclastic deposits. The results include a geological map, a brief description of pyroclastic flow structures, an estimate of the amount of discharged pyroclastics, including available datings. Micro analyser applied to the composition of mineral phases and residual glass provided data for comparative analysis of mineral composition in the pumice-ignimbrite deposits of the calderas under study. Tables are presented showing representative analysis of crystalline phases and glass fragments. It is shown that substantial differences exist in the pyroxene and titanomagnetite compositions among different calderas.