

УДК 551.21

РАСЧЛЕНЕНИЕ ИГНИМБРИТОВ И ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ МАГМЫ, ВЫБРОШЕННОЙ ПРИ ИГНИМБРИТООБРАЗУЮЩИХ ИЗВЕРЖЕНИЯХ НА ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКЕ

© 2000 г. В. Л. Леонов, Е. Н. Гриб, Л. А. Карташева

Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 24.02.98 г.

Рассматривается центральный участок Восточно-Камчатского вулканического пояса, отличающийся широким развитием игнимбритов, покрывающих площадь около 4000 км². Игнимбриты связаны с серией кальдер, приуроченных к центральным частям трех крупных вулканических центров: Карымского, Больше-Семячикского и Узон-Гейзерного. Они имеют возраст от 35 до 180 тыс. лет. В долине реки Новый Семячик, расположенной на стыке Карымского и Большие-Семячикского центров, проведено детальное описание разрезов игнимбритов, изучен их минеральный состав, выявлены критерии, отличающие игнимбриты разных центров. В результате этих работ уточнены границы полей распространения игнимбритов и подсчитаны их объемы. Общий объем риодацитовой магмы, выброшенной при игнимбритообразующих извержениях, произошедших в последние 180 тыс. лет на Восточной Камчатке, оценен в 220 км³, скорость поступления магмы - в 1.2 км³/тыс. лет.

Во многих вулканических районах земного шара встречаются комплексы кальдер, с которыми связаны мощные толщи пирокластических отложений, покрывающих огромные территории. Примером могут служить изучающиеся длительное время вулканические поля на юго-западе Невады [23], поле Сан-Хуан в Колорадо [26], центральная часть Вулканической зоны Таупо в Новой Зеландии [25, 31] и другие. Во всех этих районах существует проблема расчленения сложных пирокластических толщ, идентификации отдельных покровов, привязки их к тем или иным кальдерам. Работы, проводящиеся в этом направлении, позволяют не только более обоснованно рассматривать вопросы моделирования, магматической эволюции, изучения геотермальных и рудообразующих процессов, но и в некоторых случаях выявить новые, не известные ранее структуры [26, 27]. Центральный участок Восточной Камчатки, где на сравнительно небольшой территории (120 x 50 км) расположено около десяти средне-верхнечетвертичных кальдер, относится к подобным районам. Кальдеры здесь образуют компактную группу, вытянутую в северо-восточном направлении (рис. 1). Они приурочены к центральным частям крупных вулканических центров и окружены обширными полями связанных с их образованием пирокластических отложений. Среди последних наиболее распространены игнимбриты, которые перемежаются с пемзами, шлаками, озерными и ледниковыми отложениями. Изучением кальдер и игнимбритов на данном участке занимались многие исследователи [2-20].

Выявлено три основных центра игнимбритообразования: Карымский, Больше-Семячикский и Узон-Гейзерный. Игнимбриты, связанные с этими центрами, обычно называют, соответственно, карымскими, семячикскими и узонскими. Разрезы каждой из этих трех толщ игнимбритов достаточно сложные и свидетельствуют о длительной и многоэтапной истории их образования [5-8, 15, 19-20]. Несмотря на большое количество работ, посвященных этим породам, области их распространения, соотношение друг с другом, вероятные объемы остаются во многом неопределенными и разными авторами рассматриваются по-разному. Наиболее сложный узел, где перемежаются игнимбриты всех трех толщ и где, благодаря хорошей обнаженности, можно достаточно детально изучить их разрезы, условия залегания и распространения, - это район реки Новый Семячик (рис. 2). До сих пор игнимбриты в этом районе либо не расчленялись совсем и рисовались единым полем [12-14, 19], либо граница между отдельными толщами проводилась условно, вдоль рек, разделяющих вулканические центры [5, 15, 17]. Специальные работы, проведенные в этом районе в последние годы, были направлены на расчленение толщ игнимбритов, определение их характерных особенностей и различий. Результаты этих работ излагаются ниже.

Исходные данные. Геологическое строение кальдерных комплексов Узон-Гейзерного, Больше-Семячикского и Карымского центров изучено достаточно хорошо [2-5, 8-11, 14-17]. На отдельные, наиболее сложные участки составлены гео-

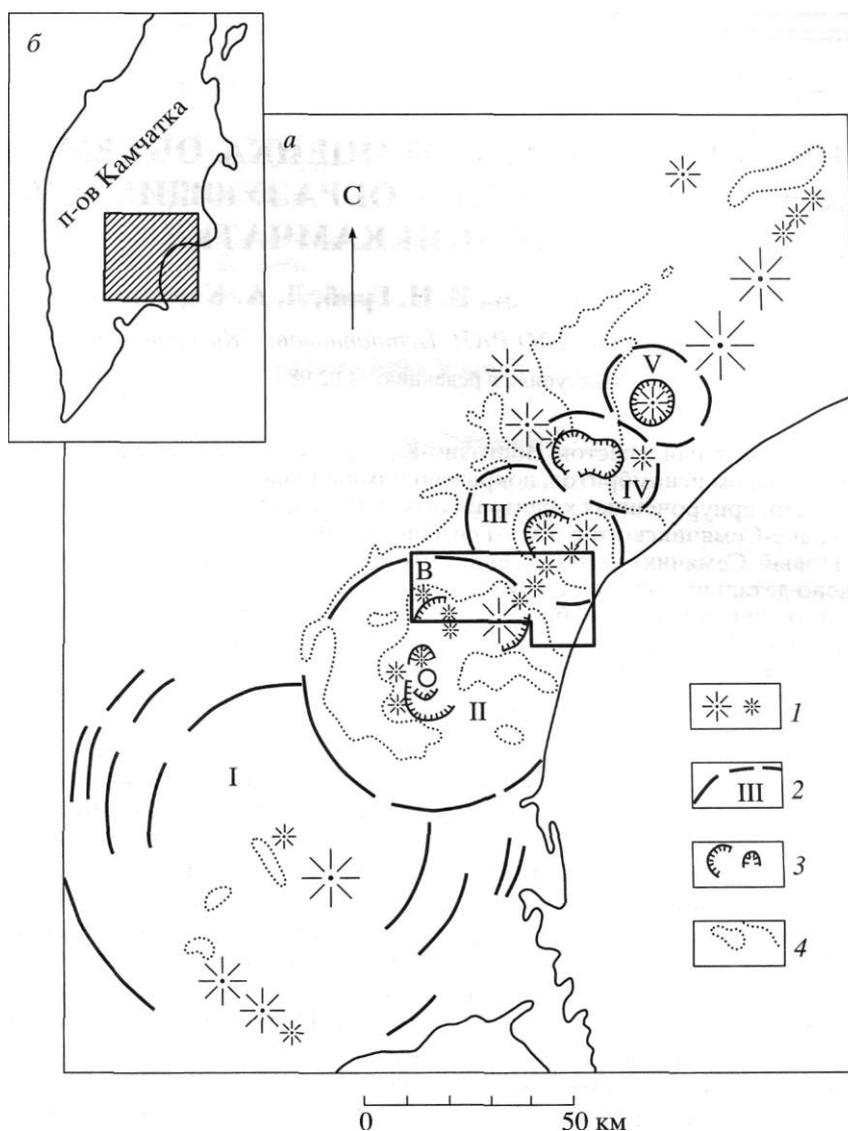


Рис. 1. Схема расположения (а) основных вулканических центров и полей распространения позднечетвертичных игнимбритов на центральном участке (б- место расположения рассматриваемого района на Камчатке): 1 - вулканы; 2 - предполагаемые границы основных вулканических центров (центры обозначены номерами: I - Налачевский; II - Карымский; III - Больше-Семячикский; IV - Узон-Гейзерный; V - Крашенинникова); 3 - кальдеры; 4 - границы полей распространения позднечетвертичных игнимбритов: В - см. рис. 2.

логические карты масштаба 1 : 10000 и 1 : 25000. Детально изучены разрезы игнимбритов [6-8, 19-20]. Были выявлены их характерные особенности и, в частности, то, что наиболее ранние игнимбриты Больне-Семячикского района, в отличие от всех других игнимбритов Восточной Камчатки, имеют риолитовый состав, содержат кварц, а сопутствующие им пемзовые туфы - кварц и биотит [6, 20]. При изучении игнимбритов, связанных с кальдерным комплексом Больпе-Семячикского района, был выявлен четкий корреляционный признак - содержание марганца в пироксенах [6]. По этому признаку удалось расчленить толщу игнимбритовых отложений и сопоставить от-

дельные порции игнимбритов [11]. В последние годы авторы смогли ознакомиться также с наиболее типичными разрезами карымских игнимбритов, изучавшихся ранее подробно другими исследователями [5, 8, 15]. В распоряжении авторов имеется достаточно представительный материал по всем игнимбритам (карымским, семячикским и узонским), ими выявлены характерные особенности разрезов этих пород, а также критерии, по которым можно провести их сопоставление.

Методы исследования. В бассейне реки Новый Семячик, где, как следовало из предыдущих работ, должны были вскрываться игнимбриты всех трех толщ, нами было проведено детальное изу-

РАСЧЛЕНЕНИЕ ИГНИМБРИТОВ И ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ МАГМЫ 5

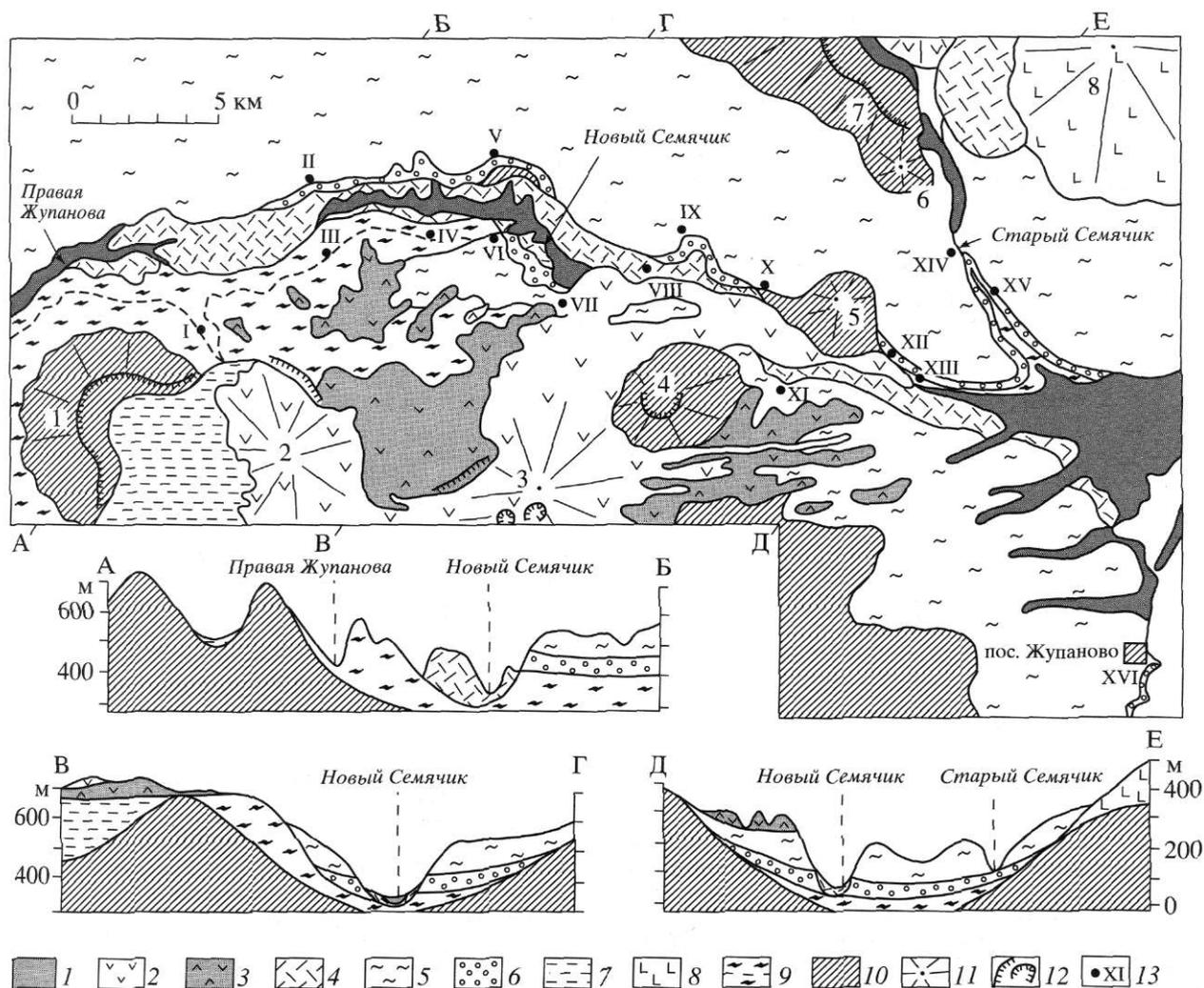


Рис. 2. Геологическая карта бассейна реки Новый Семьячик (составлена с использованием материалов О.Б. Селягина [15]); 1 – аллювиальные отложения (Q_4); 2 – лавы андезито-базальтового и базальтового состава, лавобрекчии, шлаки ($Q_3^4-Q_4$); 3 – агломеративные шлаковые туфы (Q_3^4); 4 – агломеративные пемзовые туфы, игнимбриты (вложенные в долины рек Новый Семьячик и Правая Жупанова, нерасчлененные) (Q_3^4); 5 – игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерным вулканическим центром (Q_3); 6 – агломеративные пемзовые кварц-биотитовые туфы, связанные с Больше-Семьячским вулканическим центром (Q_3); 7 – песчаники, алевролиты (озерные отложения в кальдере вулкана Соболиного) (Q_{2-3}); 8 – лавы андезитового состава (Q_2); 9 – игнимбриты, связанные с Карымским вулканическим центром (Q_2); 10 – лавы андезито-базальтового, базальтового состава, лавобрекчии, туфы (комплекс докальдерных вулканов) (Q_{1-2}); 11 – вулканы (1 – Соболиный, 2 – Ступенчатый Бастион, 3 – Малый Семьячик, 4 – Березовый, 5 – Двухюрточный, 6 – Незаметный, 7 – хребта Борг, 8 – Проблематичный); 12 – эрозионные уступы кальдер и кратеров вулканов; 13 – места расположения и номера разрезов, описанных в статье.

чение разрезов пирокластических отложений, вскрывающихся по бортам долины реки. Был выявлен и прослежен вдоль бортов характерный маркирующий горизонт - кварц-биотитовые пемзовые туфы риолитового состава. Было проведено сопоставление разрезов, при этом сделаны валовые химические анализы образцов игнимбритов, проведен их минералогический и петрохимический анализ. Составы минеральных фаз и остаточных стекол из образцов игнимбритов бы-

ли определены с помощью рентгеноспектрально-го микроанализатора "Сamebax".

Результаты исследований. *Описание разрезов.* На рис. 2 и 3 представлены составленные нами геологическая карта бассейна реки Новый Семьячик и разрезы отложений, вскрывающихся на изученной территории. Можно видеть, что игнимбриты и связанные с ними пемзовые и шлаковые туфы слагают большую часть рассматриваемого района. Они вскрываются как по бортам

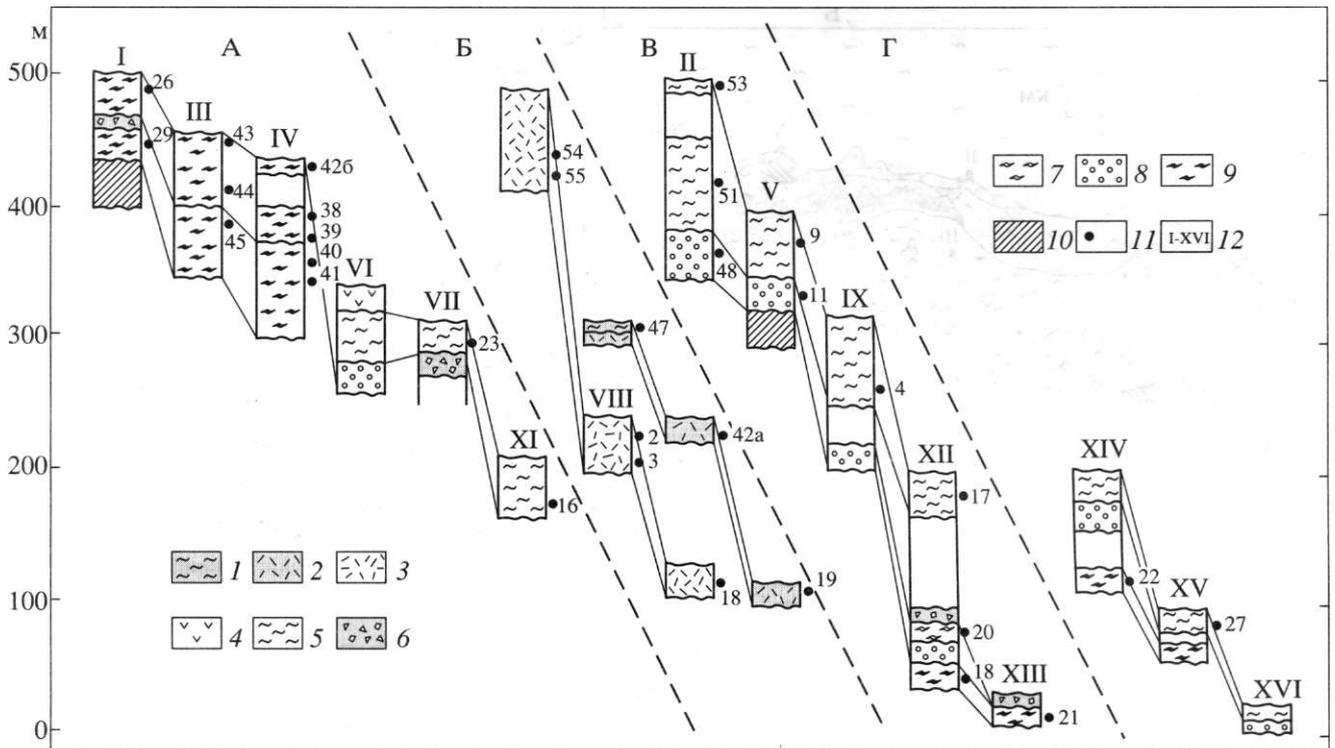


Рис. 3. Сопоставление разрезов игнимбритовых отложений, вскрывающихся в бассейне реки Новый Семячик и в смежных районах: 1–3 – комплекс отложений, вложенных в долину реки Новый Семячик (1 – игнимбриты; 2 – агломератовые туфы андезитового состава; 3 – агломератовые туфы дацитового состава); 4 – лавы андезито-базальтового состава; 5 – игнимбриты (узонские); 6 – валунники (ледниковые отложения); 7 – игнимбриты (семячикские); 8 – агломератовые пемзовые кварц-биотитовые туфы (семячикские); 9 – игнимбриты (карымские); 10 – комплекс докальдерных отложений (туфопесчаники, туфоалевролиты, лавы андезито-базальтового, базальтового состава); 11, 12 – номера, соответственно, образцов и разрезов (см. текст). А – разрезы отложений правого (южного) борта долины реки Новый Семячик. Б – разрезы отложений, вложенных в долину. В – разрезы отложений левого (северного) борта долины реки Новый Семячик. Г – разрезы отложений, вскрытых на реке Старый Семячик (XIV, XV) и в районе пос. Жупанова на берегу океана (XVI).

расположенных здесь речных долин, где они слагают обширные плато, так и на дне этих долин, где они являются вложенными. Выделяется два комплекса игнимбритовых отложений – бортовой (игнимбриты плато) и вложенный (игнимбриты долин). Игнимбриты первого комплекса (бортового) распространены наиболее широко и благодаря присутствию в них отчетливого маркирующего горизонта – пемзовых кварц-биотитовых туфов – они разделяются на три толщи. Одна из них, нижняя, вскрывается преимущественно в западной части рассматриваемого района на склонах кальдеры вулкана Соболиного (рис. 2). Ранее разрез игнимбритов этой толщи в верховьях реки Правая Жупанова изучался Б.В. Ивановым [8], который рассматривал его как характерный разрез игнимбритов, связанных с Карымским вулканическим центром. Вторую толщу слагают агломератовые пемзовые кварц-биотитовые туфы, которые связаны с начальным этапом кальдерообразования в Больне-Семячикском вулканическом центре [6]. В нижнем течении

реки Новый Семячик и на реке Старый Семячик эти туфы залегают на игнимбритах первой толщи (рис. 2). Они были встречены во всех разрезах северного борта долины реки Новый Семячик, а также в основании разреза VI южного ее борта (рис. 3). Третья, верхняя толща игнимбритов, относящихся к бортовому комплексу, залегают повсеместно выше пемзовых кварц-биотитовых туфов и имеет наиболее широкое распространение в районе. Эти игнимбриты слагают обширное плато, расположенное на севере и на востоке района, при этом уровень плато постепенно снижается в восточном направлении, и на побережье игнимбриты образуют пологие, далеко вдающиеся в океан мысы (рис. 2). Если принадлежность описанных выше игнимбритов первой и второй толщ не вызывает сомнения (первые – карымские, вторые – семячикские), то отнесение игнимбритов третьей, верхней, толщи к узонским, как это сделано на рис. 2, потребовало применения более детальных минералогических исследований, о которых будет сказано ниже.

Таблица 1. Составы игнимбритов, вскрытых в долинах реки Карымская и Новый Семячик

Игним- бриты	Карымские										Семя- чикские	Узонские		Вложенные в долины рек	
	№	61	60	45а	45б	41	44	39	38	42в	20	16	17	18	42а
SiO ₂	64.24	63.08	63.89	64.39	63.87	63.65	69.15	69.46	63.00	62.95	67.10	67.20	67.36	64.86	62.40
TiO ₂	0.57	1.01	1.08	1.07	1.05	0.99	0.77	0.77	0.88	0.96	0.52	0.80	0.77	0.68	1.05
Al ₂ O ₃	15.21	15.54	15.79	15.52	16.14	15.56	15.50	15.10	16.08	17.00	16.03	15.07	15.16	16.76	16.36
Fe ₂ O ₃	1.83	3.38	2.85	2.97	2.36	3.14	1.57	1.63	2.32	2.08	2.84	1.92	1.84	2.15	2.68
FeO	4.99	4.68	3.50	4.17	4.76	3.05	2.50	2.39	4.80	4.50	3.90	3.30	3.19	2.97	4.08
MnO	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.13	0.07	0.12	0.17	0.17	0.17	0.15	0.14	0.15	0.15
MgO	1.80	1.64	2.19	1.68	1.26	2.00	0.98	1.15	2.27	1.74	0.54	1.22	1.65	2.63	1.67
CaO	3.82	4.59	3.96	3.56	4.13	4.63	2.76	1.79	4.17	4.46	2.16	2.98	3.17	5.20	5.14
Na ₂ O	5.12	4.05	4.17	4.26	4.33	4.30	4.72	4.76	4.33	4.23	4.12	4.70	4.43	2.83	4.18
K ₂ O	2.24	1.85	2.38	2.20	1.92	2.54	1.94	2.96	1.97	1.91	2.61	2.61	2.28	1.74	2.29

Примечание. Анализы сделаны в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН, аналитики Л.А. Карташева, В.В. Дунин-Барковская. Привязка образцов к разрезам показана на рис. 3. Номера образцов в таблице соответствуют номерам образцов на рис. 3.

Игнимбриты и туфы второго комплекса, вложенные в долины рек Новый Семячик и Правая Жупанова, имеют гораздо меньшее распространение (рис. 2). Они сформировались значительно позже игнимбритов плато, обнажающихся по бортам долин. Условия залегания этих отложений и особенности их состава позволяют выделить среди них две толщи - более древнюю, сложенную агломератовыми пемзовыми туфами дацитового состава, и более молодую, сложенную псефитовыми шлаковыми туфами и игнимбритами андезитового состава. Отложения первой толщи имеют значительную мощность (до 100 м) и почти полностью заполняют долину реки Новый Семячик в ее верхнем течении (рис. 2, разрез по линии А-Б). В средней и нижней частях долины эти отложения в значительной мере уничтожены эрозией, хотя встречаются в виде останцев практически повсеместно. Отложения второй толщи залегают на дне распадков и промоин, сформировавшихся в отложениях первой толщи. Мощность этих отложений значительно меньше - до 20-30 м. Останцы этих отложений, также заполнявших, по-видимому, некогда всю долину реки Новый Семячик, встречаются в настоящее время в виде разрозненных выходов во многих местах в средней и нижней ее частях (рис. 3, точки 19, 42а, 47).

Разрезы игнимбритовых отложений нижней толщи бортового комплекса (карымских). Наиболее полные разрезы этих отложений, как уже отмечалось, вскрыты в верховьях рек Новый Семячик и Правая Жупанова, на склонах кальдеры вулкана Соболиного (рис. 2). Так, в разрезе IV (рис. 2, 3) здесь обнажаются следующие породы, сверху вниз:

1. Игнимбриты серого цвета с тонкими извилистыми фьямме, сложенными черным стеклом - 20 м
2. Игнимбриты черного цвета с обильными черными фьямме - 8 м
3. Игнимбриты темно-серого цвета, плотные, мелкообломочные, имеющие тонкоплитчатую отдельность, фьямме в виде тонких пропластков стекла - 2 м
4. Спекшиеся туфы светло-коричневого цвета, с многочисленными обломками светло-серых, слегка уплощенных пемз и шлаков - 3 м
5. Игнимбриты кирпично-красного цвета, плотные, лавоподобные - 7 м
6. Игнимбриты сиреневого цвета с тонкими ветвящимися фьямме, сложенными темно-коричневым, раскристаллизованным стеклом, с многочисленными обломками коричнево-красного цвета - 3 м

Аналогичный разрез с повторением слоев вскрывается западнее, вблизи перевала Голубичного (разрез III на рис. 2, 3).

Еще далее к западу, в верховьях реки Правая Жупанова также широко развиты игнимбриты, подобные описанным (разрез I на рис. 2, 3). Здесь на мощной толще тонкослоистых туфопесчаников, туфогравелитов и псефитовых туфов, относящихся к докальдерному комплексу, залегают сверху вниз:

1. Игнимбриты серого цвета с тонкими извилистыми фьямме, сложенными черным, частично раскристаллизованным стеклом - 30 м
2. Игнимбриты кирпично-красного цвета с многочисленными обломками шлаков - 15 м
3. Агломератовые туфы, обломки представлены в основном лавой и стеклом - 2 м

Таблица 2. Состав породообразующих минералов в игнимбритах, вскрытых в долинах рек Карымская, Новый Семячик (представительные анализы)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	54.48	56.07	57.79	55.22	57.47	55.97	53.55	52.73	53.47	53.94	54.32
TiO ₂	–	–	–	–	–	–	–	0.45	0.24	0.24	0.20
Al ₂ O ₃	28.13	26.42	25.91	27.97	26.61	26.20	28.45	0.67	0.73	0.47	0.70
FeO*	0.59	0.57	0.45	0.73	0.24	0.57	0.61	19.77	18.86	18.66	18.04
MgO	–	–	–	–	–	–	–	23.90	23.73	23.63	24.26
CaO	10.73	11.19	8.25	10.62	9.38	8.91	11.48	1.86	1.83	1.28	1.29
Na ₂ O	4.98	4.45	5.73	5.64	5.57	7.68	4.58	–	–	–	–
K ₂ O	0.20	0.33	0.34	0.24	0.29	0.41	0.13	–	–	–	–
MnO	–	–	–	–	–	–	–	1.08	0.87	1.50	1.04
Σ	99.16	99.23	98.54	100.52	99.61	99.85	98.99	100.47	99.60	99.79	99.90
Or	1.21	2.01	2.16	1.37	1.75	2.08	0.80	–	–	–	–
Ab	45.10	41.01	54.47	43.37	50.9	59.68	41.61	–	–	–	–
An	53.68	56.98	48.32	50.31	47.35	38.25	57.50	–	–	–	–
fm	–	–	–	–	–	–	–	31.70	29.87	30.69	29.44
Wo	–	–	–	–	–	–	–	3.68	3.70	2.63	2.63
En	–	–	–	–	–	–	–	65.79	66.80	67.48	68.70
Fs	–	–	–	–	–	–	–	30.53	29.50	29.89	28.67
№ п/п	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SiO ₂	52.74	53.15	52.85	53.80	–	–	–	–	–	–	–
TiO ₂	0.24	0.16	0.30	0.32	11.44	7.90	10.19	11.04	18.86	7.96	8.02
Al ₂ O ₃	0.39	0.13	0.54	1.10	2.38	2.74	1.04	1.89	1.55	1.47	2.79
FeO*	26.31	21.54	18.77	17.47	83.81	87.19	86.03	85.56	87.59	89.47	88.67
MgO	17.31	20.77	24.27	24.69	1.19	.28	0.98	0.53	1.56	0.78	1.60
CaO	1.81	0.84	1.36	1.52	–	–	–	–	–	–	–
Na ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
MnO	1.05	1.60	1.38	0.39	0.63	0.41	1.28	0.52	0.87	0.78	0.33
Σ	99.85	98.87	99.55	99.30	99.76	99.28	99.90	99.66	100.47	100.53	101.00
Or	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ab	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
An	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
fm	46.03	36.78	30.26	28.42	–	–	–	–	–	–	–
Wo	3.89	1.81	2.73	3.07	–	–	–	–	–	–	–
En	51.87	62.07	67.84	69.38	–	–	–	–	–	–	–
Fs	44.24	36.12	29.43	27.55	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. 1–7 – плагиоклаз (1, 2 и 3, 4 – карымские игнимбриты, соответственно, нижний и верхний покровы; 5 – семячские игнимбриты; 6–7 – узонские игнимбриты); 8–15 – ортопироксен (8, 9 и 10, 11 – карымские игнимбриты, соответственно нижний и верхний покровы, 12 – семячские игнимбриты, 13, 14 – узонские игнимбриты, 15 – игнимбриты, вложенные в долину реки Новый Семячик; 16–22 – титано-магнетит (16, 17 и 18, 19 – карымские игнимбриты, соответственно, нижний и верхний покровы, 20 – семячские игнимбриты, 21 – узонские игнимбриты, 22 – игнимбриты, вложенные в долину реки Новый Семячик). Анализы выполнены на микроанализаторе “Camebax” в Институте вулканологии ДВО РАН.

4. Игнимбриты светло-коричневого цвета, землистые, содержащие обильные обломки слабо уплощенных черных шлаков, стекол - 6 м

5. Конгломераты, валуны размером 10-30 см, сложены в основном лавой, состав пестрый - 6 м

6. Игнимбриты темно-серого цвета, плотные, содержащие обильные фьямме, сложенные черным стеклом - 6 м

Характерной особенностью описанных игнимбритов является наличие среди них пород, имею-

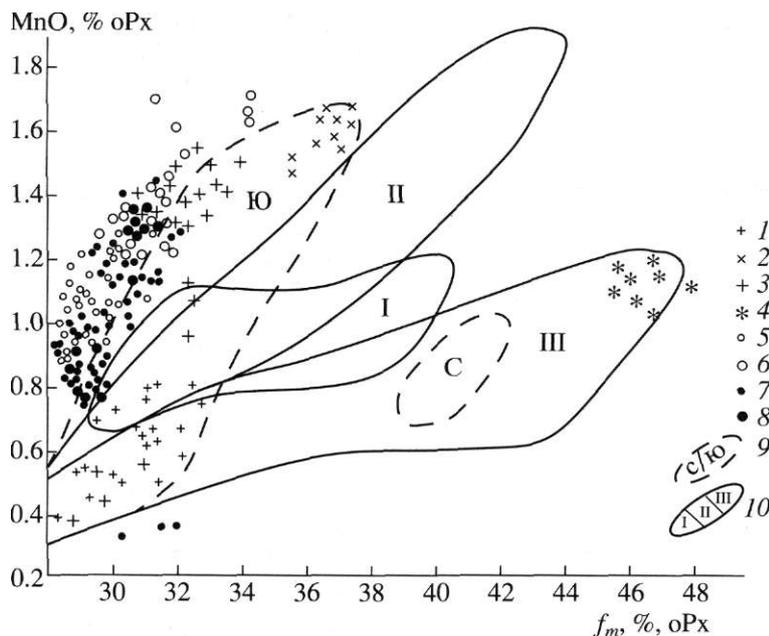


Рис. 4. Зависимость распределения окиси марганца от железистости во вкрапленниках ортопироксена изученных образцов: 1 - игнимбриды андезитового состава (вложенные в долину реки Новый Семячик); 2 - агломератовые пемзовые туфы дацитового состава (вложенные в долину реки Новый Семячик); 3 - узонские игнимбриды; 4 - семячкские игнимбриды; 5-8 - карымские игнимбриды (5, 6 - верхний покров, соответственно, нижняя и верхняя части разреза; 7,8- нижний покров, соответственно, нижняя и верхняя части разреза); 9 - контур распространения фигуративных точек ортопироксенов изучавшихся ранее узонских игнимбридов северного (С) и южного (Ю) полей [7]; 10 - контур распространения фигуративных точек изучавшихся ранее семячкских игнимбридов I, II и III игнимбритообразующих этапов [6].

щих красновато-коричневые или сиреневые цвета. Как отмечено в [5], красный оттенок, присущий многим игнимбридам Карымского вулканического центра, появляется из-за присутствия в породах многочисленных литофиз, полости которых заполнены землистым агрегатом кирпично-красного цвета. Иногда оторочка из такого материала окружает обломки, присутствующие в массе породы. Поскольку среди игнимбридов Больше-Семячкского и Узон-Гейзерного вулканических центров, изучавшихся нами ранее [6, 7], породы с красным или сиреневым оттенком были редкостью, то широкое развитие этих пород среди игнимбритовых отложений Карымского центра может служить дополнительным признаком, позволяющим проводить корреляцию разрезов в рассматриваемом районе.

Для минералогической характеристики карымских игнимбридов нами были отобраны образцы из разрезов III и IV, расположенных в верховьях реки Новый Семячик (рис. 2, 3), а также образцы (№ 60, 61) из разреза, расположенного на реке Карымской ниже устья ручья Углогового (за пределами района, показанного на рис. 2). Игнимбриды, вскрывающиеся на реке Карымской, подробно описывались ранее многими исследователями [5, 8, 15] и использовались нами как эталон карымских игнимбридов. Получен-

ные данные по валовому химическому составу и по составу минеральных фаз изученных образцов приведены в табл. 1 и 2. Они позволяют считать, что нами было опробовано два покрова карымских игнимбридов, которые мы условно назвали нижний и верхний. Игнимбриды нижнего покрова имеют довольно однородный дацитовый состав (63.6-64.4% SiO₂) с незначительным возрастанием кислотности в нижней его части. Игнимбриды верхнего покрова более кислые, их состав изменяется от риодацитов в основании до дацитов в верхней части.

На рентгеновском микроанализаторе "Сameбах" нами были изучены минеральные парагенезисы во всех разновидностях игнимбридов. На представленном графике (рис. 4) показано соотношение марганцевистости и железистости ортопироксенов из всех изученных образцов. На том же рисунке показаны поля фигуративных точек ортопироксенов из изучавшихся нами ранее игнимбридов Больше-Семячкского и Узон-Гейзерного центров (семячкских и узонских игнимбридов). Видно, что железистость ортопироксенов в изученных образцах карымских игнимбридов изменяется очень незначительно, от 28 до 31% (в единичных зернах до 32-33%). Концентрация марганца при этом варьирует от 0.7-1.2% в низкокремнистых дацитах до 1.2-1.9% в более кислых разновидностях.

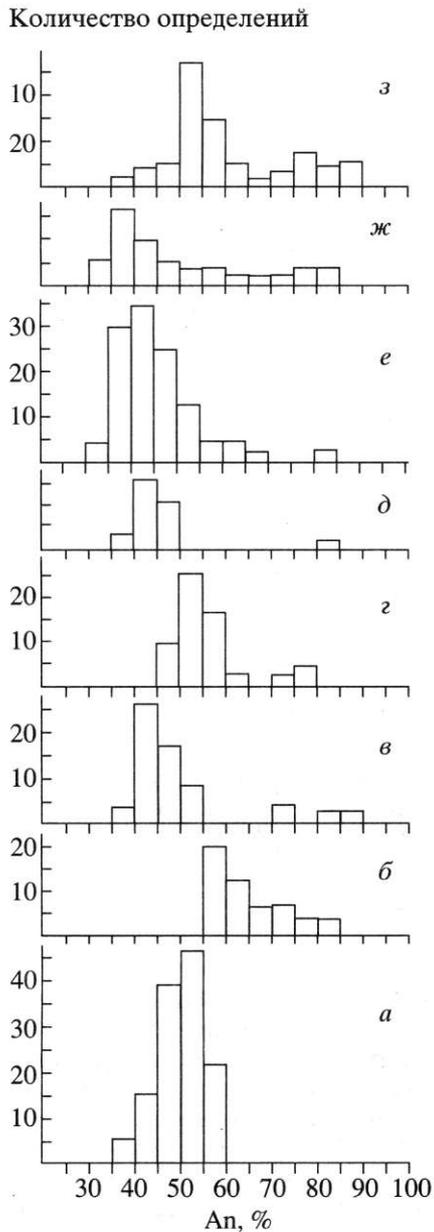


Рис. 5. Гистограммы распределения составов вкрапленников плагиоклаза в изученных образцах: а, б - карымские игнимбристы, нижний покров, соответственно, нижняя и верхняя части разреза; в, г - карымские игнимбристы, верхний покров, соответственно, нижняя и верхняя части разреза; д - семячкские игнимбристы; е - узонские игнимбристы; ж - агрегативные пемзовые туфы дацитового состава, вложенные в долину реки Новый Семячик; з - игнимбристы андезитового состава, вложенные в долину реки Новый Семячик.

В целом фигуративные точки ортопироксенов карымских игнимбристов образуют компактное обособленное поле, которое не совпадает с аналогичными полями семячкских и узонских игнимбристов, отличаясь от них пониженной железистостью и повышенной марганцевистостью.

На рис. 5 представлена гистограмма распределения составов вкрапленников плагиоклаза в изученных образцах игнимбристов. Для карымских игнимбристов приведены данные для нижних и верхних частей разрезов двух изученных покровов. Видно, что нижний, более ранний покров карымских игнимбристов отличается однородностью состава и унимодальным распределением анортита во вкрапленниках, а верхний - более сложным составом и бимодальным распределением анортитовой составляющей (рис. 5, а-г). Изменяются составы плагиоклаза и по разрезу каждого отдельного пирокластического покрова. В основании нижнего покрова абсолютно преобладает андезин-лабрадор (45-55% An), а верхней его части плагиоклаз становится более кальциевым (рис. 5а, 5б). Во втором пирокластическом покрове в основании преобладает андезин (40-45% An), который выше по разрезу сменяется андезин-лабрадором.

Результаты изучения составов титано-магнетитов из тех же образцов игнимбристов вынесены на диаграмму Al_2O_3 -MnO-MgO (на ней показаны также поля расположения фигуративных точек семячкских и узонских игнимбристов) (рис. 6). Фигуративные точки титано-магнетитов из карымских игнимбристов в целом образуют обособленную группу и отличаются сравнительно высокой глиноземистостью, умеренной магnezистостью и пониженной концентрацией марганца. В то же время титано-магнетиты из последних порций второго (верхнего) покрова карымских игнимбристов отличаются повышенной марганцевистостью и их фигуративные точки формируют обособленное поле, располагающееся на границе аналогичных полей семячкских и узонских игнимбристов (рис. 6).

Разрезы игнимбристовых отложений средней толщи бортового комплекса (семячкских). Как уже отмечалось, эту толщу в пределах рассматриваемого района слагают преимущественно агрегативные пемзовые кварц-биотитовые туфы, которые были встречены нами во всех изученных разрезах северного борта долины реки Новый Семячик, а также в основании разреза VI южного ее борта (рис. 2, 3). Игнимбристы, залегающие выше этих туфов и занимающие обширные поля к северу от реки Новый Семячик, многими исследователями, в том числе и нами, ранее рассматривались также как семячкские [5, 10, 15, 17]. Однако данные о составе минералов из этих пород, приводящиеся ниже, и сравнение этих данных с результатами проведенного нами ранее изучения минералов семячкских игнимбристов [6] позволяют считать, что эти представления были ошибочными. Семячкские игнимбристы отличаются повышенной железистостью пироксенов [6]. Этот показатель варьирует от 28 до 47% в зависимости от состава игнимбристов. По соотноше-

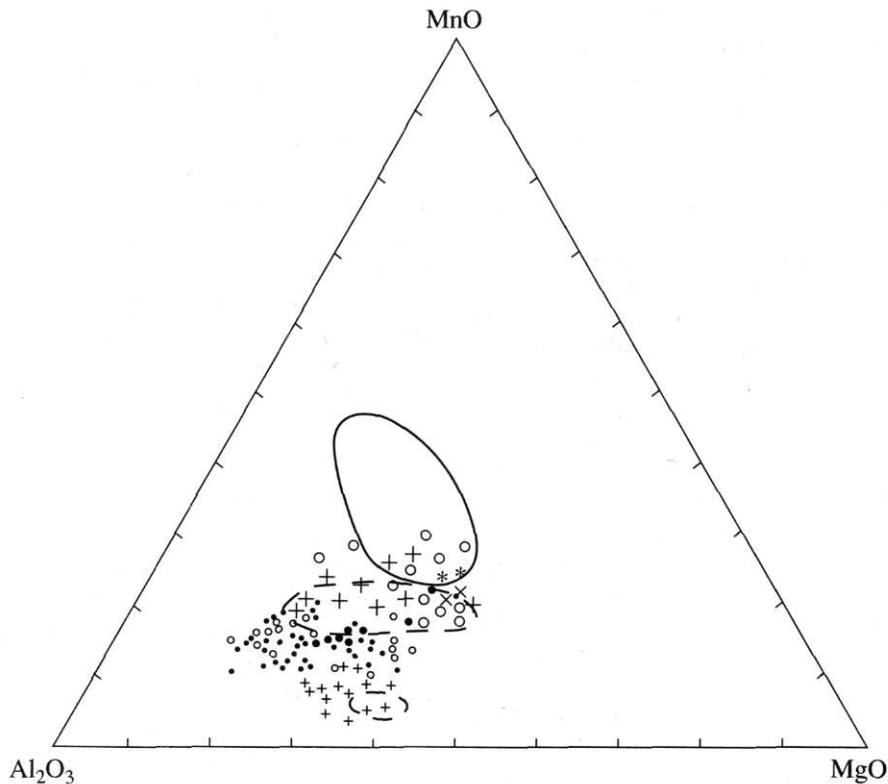


Рис. 6. Соотношение Al_2O_3 – MnO – MgO во вкрапленниках титано-магнетита. Для узонских игнимбритов: верхний овал – фигуративные точки титаномагнетитов игнимбритов южного и северного полей, нижний овал – вкрапленников из спекшихся шлаков андезито-базальтового состава. Остальные усл. обозн. см. на рис. 4.

нию степени железистости ортопироксенов и концентрации в них марганца ранее нами было выделено три обособленных поля, характеризующих состав ортопироксенов игнимбритов трех этапов игнимбритообразования в Больше-Семячском центре (рис. 4). Среди изученных образцов игнимбритов, вскрывающихся в бассейне реки Новый Семячик, лишь один образец, отобранный в нижней части разреза XII (рис. 2, 3), содержал высокожелезистые гиперстены (fm 45-47%) и мог быть отнесен к семячским игнимбритам.

В разрезе XII, где наиболее полно вскрыты туфы и игнимбриды средней толщи бортового комплекса, обнажаются следующие породы, сверху вниз:

1. Игнимбриды серого цвета, плотные, с плохо выделяющимися фьямме, сложенными раскристаллизованным стеклом, с многочисленными обломками - 30 м
2. Невскрытая часть разреза - 60 м
3. Валунник, валуны размером 30-50 см, редкие до 1-2 м, состав пестрый, преобладают лавы, игнимбриды -3 м
4. Игнимбриды черного цвета, плотные, с редкими впающимися в породу мелкими обломками - 15 м

5. Туфы белого цвета, пемзовые, кристаллолитокластические, содержащие многочисленные вкрапленники кварца, биотита - 10 м

6. Игнимбриды серого цвета с красноватым оттенком, содержащие многочисленные фьямме, сложенные черным стеклом - 15 м

Нижний слой игнимбридов в этом разрезе мы относим к толще описанных выше карымских игнимбридов, верхний слой - к описываемым далее узонским игнимбридам, а слои 4 и 5 - к игнимбридам, связанным с Больше-Семячским центром. Образец, содержащий высокожелезистые гиперстены, был отобран нами из слоя 4. Судя по тому, что фигуративные точки пироксенов этого образца в координатах fm-MnO попали в поле семячских игнимбридов последнего третьего этапа (рис. 4), можно сделать вывод, что в разрезе XII вскрыт игнимбрид одного из последних пирокластических потоков, связанных с Больше-Семячской кальдерой. Это подтверждает и состав вкрапленников плагиоклаза рассматриваемого образца (рис. 5д), который полностью соответствует составу этого минерала в дацитовых игнимбридах начала третьего этапа игнимбритообразования в Больше-Семячском центре [6].

Результаты изучения составов титано-магнетитов, вынесенные на диаграмму Al_2O_3 - MnO -

MgO (рис. 6) также показывают, что титано-магнетиты из игнимбрита слоя 4 разреза XII попадают в нижнюю часть ареала изучавшейся нами ранее пирокластики Больше-Семячикской кальдеры, той ее части, где расположены фигуративные точки вкрапленников игнимбритов дацитового состава последнего третьего этапа игнимбриобразования [6].

Во всех других изученных разрезах игнимбритовых отложений в бассейне реки Новый Семячик к рассматриваемой толще были отнесены лишь пемзовые кварц-биотитовые туфы. Повсеместно они образовывали пемзовые сыпучки и были представлены неслоистыми псефитовыми или агломератовыми туфами, состоящими в основном из обломков размером до 10-15 см сильно пористой волокнистой пемзы белого цвета.

Разрезы игнимбритовых отложений верхней толщи бортового комплекса (узонских). Рассматриваемые отложения слагают верхнюю часть всех разрезов северного борта долины реки Новый Семячик, они были встречены в разрезах VI, VII и XI на ее южном борту, а также в районе поселка Жупаново на побережье океана (разрез XVI) (рис. 2, 3). Игнимбриты этой толщи бронируют плато, простирающееся к северу от долины реки Новый Семячик, вскрываясь практически повсеместно вдоль кромки обрывов, ограничивающих долину. Почти во всех изученных разрезах эти игнимбриты залегают на пемзовых кварц-биотитовых туфах, описанных выше. Приведем описание некоторых характерных разрезов. В верховьях реки Новый Семячик вскрываются следующие породы (разрез II на рис. 2 и 3), сверху вниз:

1. Игнимбриты, агломератовые туфы черного цвета с большим количеством обломков шлаков - 5 м
2. Невскрытая часть разреза - 30 м
3. Игнимбриты серого цвета, содержащие редкие, плохо выделяющиеся из породы фьямме, сложенные раскристаллизованным стеклом, плотно спекшиеся - 20 м
4. Игнимбриты серого цвета с обильными фьямме, состоящими из черного стекла - 4 м
5. Игнимбриты темно-серого цвета, плотные, со светлыми, плохо выделяющимися из породы фьямме - 10 м
6. Псаммитовые, псефитовые туфы, слоистые, светло-коричневого цвета - 3 м
7. Игнимбриты серого, темно-серого цвета, содержащие множество обломков черных шлаков, иногда вытянутых в виде фьямме - 30 м
8. Туфы пемзовые, агломератовые, кристаллолитокластические, белого цвета, содержащие кристаллы кварца, биотита - 30 м

Похожие разрезы вскрываются и в средней части долины (V, IX и X на рис. 2,3). В частности, по

ручью Широкому (разрез IX) обнажаются, сверху вниз:

1. Игнимбриты серого цвета с редкими, плохо выделяющимися фьямме, сложенными раскристаллизованным стеклом, с крупноглыбовой отдельностью - 10 м
2. Игнимбриты серого цвета с обильными фьямме из черного стекла, отдельность толстоплитчатая - 12 м
3. Игнимбриты серого цвета, слабо спекшиеся, землистые, с множеством обломков слегка уплотненных шлаков черного цвета - 8 м
4. Туфы псефитовые, пемзовые, желтого цвета, слоистые - 5 м
5. Игнимбриты черного цвета, стекловатые, сильно спекшиеся - 3 м
6. Игнимбриты черного цвета, слабо спекшиеся, с множеством обломков шлаков и лав размером до 5-10 см, отдельность столбчатая - 20 м
7. Игнимбриты светло-серого цвета, содержащие редкие фьямме из черного стекла, плотные, грубо плитчатые - 10 м
8. Туфы пемзовые, псефитовые, агломератовые с кварцем и биотитом - 5 м

В разрезах V и X вскрываются лишь верхние слои (1, 2 и 3) описанного выше разреза.

По правому, южному борту долины реки Новый Семячик кварц-биотитовые пемзовые туфы были встречены лишь в одном месте (разрез VI, рис. 2, 3). Выше них залежали игнимбриты, аналогичные верхним слоям описанного выше разреза - серые, с редкими плохо выделяющимися из породы, более светлыми фьямме. В низовьях реки по правому борту долины (разрез XI) были встречены игнимбриты, подобные вышеописанным слоям 1 и 2, но сильнее спекшиеся, лавоподобного облика. Для минералогической характеристики рассматриваемых отложений были взяты образцы игнимбритов из разрезов XI и XII (образцы 16 и 17, рис. 3). Эти игнимбриты отличаются лавоподобным обликом, имеют фьямме, сложенные девитрифицированным стеклом, и ранее относились либо к семячикским игнимбрикам, либо к карымским [5,10,15,17]. По валовому химическому составу они относятся к высококремнистым дацитам (табл. 1). Ранее, на основании большого статистического материала нами было установлено, что семячикские и узонские игнимбриты различаются по степени железистости пироксенов и по содержанию марганца в ромбической его разновидности [6, 11]. У пироксенов из семячикских игнимбритов железистость варьирует от 28 до 47%, а у пироксенов из узонских игнимбритов она существенно ниже - 30-41%. При этом для узонских игнимбритов были выявлены также существенные различия в составе пироксенов для двух основных полей их распространения - север-

ного и южного [7]. Пироксены из игнимбритов северного поля отличаются большей железистостью (37-41%) и меньшей марганцевистостью (0.7-1.0%), а пироксены южного поля - низкой железистостью (30-34%) и повышенной концентрацией марганца (1.0-1.5%). Кроме того, для игнимбритов южного поля было выявлено также, что нижние слои игнимбритов там имеют пироксены с повышенной концентрацией марганца, а верхние - с пониженной [11].

Как видно на рис. 4, ортопироксены из изученных образцов игнимбритов, взятых из разрезов XI и XII (образцов 16 и 17, рис. 3), имеют значительно более низкую железистость, чем семячковые игнимбриты. В то же время их фигуративные точки почти точно перекрывают область, оконтуривающую пироксены узонских игнимбритов южного поля. Кроме того, судя по повышенной концентрации в них марганца, они наиболее близки пирокластике из нижних частей разрезов узонских игнимбритов южного поля. Отнесение этих пород к семячковым игнимбритам следует считать ошибочным. Не могут они относиться и к карымским игнимбритам, так как последние, как было показано выше, подстилают кварц-биотитовые туфы и имеют более древний возраст.

Состав вкрапленников плагиоклаза рассматриваемых игнимбритов немного более натриевый, чем у других игнимбритов, хотя в целом он мало отличается от такового в изученном образце семячковых игнимбритов (рис. 5). Составы титано-магнетитов, вынесенные на диаграмму Al_2O_3 -MnO-MgO, располагаются в основном в поле узонских игнимбритов, а также на границе полей узонских и семячковых игнимбритов (рис. 6).

В целом, исходя из изложенного, мы пришли к заключению, что описываемые игнимбриты верхней толщи бортового комплекса являются узонскими. Ранее обнажения подобных игнимбритов были непрерывно прослежены нами от бортов Узон-Гейзерной депрессии на юг вплоть до рассматриваемого района [7, 9, 10]. Они покрывают практически всю территорию к северу от реки Новый Семячик, а также в ее нижнем течении, где бронируют пологие плато, погружающиеся в сторону океана. Они же вскрываются на береговых обрывах в районе поселка Жупаново (разрез XVI, рис. 2, 3). Предпринимались неоднократные попытки определить абсолютный возраст игнимбритов, вскрывающихся в районе пос. Жупаново [21]. Последние определения возраста почв, отобранных из их основания, дали значения в 35-37 тыс. лет (И.В. Мелекесцев, устное сообщение). Это свидетельствует о том, что рассматриваемые игнимбриты и по возрасту наиболее близки к узонским (возраст почв, отобранных в основании узонских игнимбритов в районе Кроноцкого озера, составляет 39 тыс. лет [16]).

Разрезы игнимбритовых отложений, вложенных в долины рек Новый Семячик и Правая Жупанова. Рассматриваемые отложения, которые выше мы назвали вторым комплексом или игнимбритами долин, образуют, как уже отмечалось, две толщи - более древнюю, сложенную агломератовыми пемзовыми туфами дацитового состава, и более молодую, сложенную псефитовыми шлаковыми туфами и игнимбритами андезитового состава. Наиболее полный разрез пемзовых туфов первой толщи вскрывается в среднем течении реки Новый Семячик (VIII, рис. 2, 3). Здесь, по левому борту реки обнажается однородная, не стратифицированная толща светлых пемзовых псефитовых туфов мощностью до 100 м. Обломки волокнистой пемзы имеют размер до 2 см, в нижней части разреза легко выкрашиваются, придавая породе кавернозный вид. Туфы этой толщи, вскрывающиеся в верховьях и в низовьях реки (образцы 54, 55 и 18, рис. 3), полностью аналогичны описанным. Валовый химический состав рассматриваемых туфов - дацитовый (табл. 1, образец 18). По составу ортопироксенов и титано-магнетитов они попадают в поле фигуративных точек ортопироксенов и титано-магнетитов из узонских игнимбритов южного поля (рис. 4, 6). Состав плагиоклазов из них также наиболее близок к составу плагиоклазов узонских игнимбритов (рис. 5).

Вторая толща, представленная псефитовыми шлаковыми туфами и игнимбритами андезитового состава, имеет значительно меньшие мощности (до 20-30 м). Наиболее полные разрезы отложений этой толщи встречены нами в верховьях реки Новый Семячик, в районе описанных выше разрезов бортов долины II и III (рис. 2). Здесь террасами на дне долины вскрываются, сверху вниз:

1. Игнимбриты серого цвета, содержащие черные стекловатые фьямме - 6 м
2. Туфы псефитовые, черного цвета, содержащие редкие обломки черных шелковистых шлаков - 20 м

Псефитовые туфы, подобные описанным в этом разрезе, были встречены нами вдоль реки Новый Семячик во многих местах. Обычно они слагают низкие террасы по берегам реки. Валовый химический состав этих туфов - андезитовый (табл. 1, образец 42а). Ортопироксены из этих туфов отличаются очень низкой концентрацией марганца (0.3-0.5%), что позволяет сопоставлять их с игнимбритоподобными породами из толщи узонских игнимбритов, вскрывающихся на плато Широком [11]. Фигуративные точки этих пироксенов в координатах fm -MnO полностью попадают в поле узонских игнимбритов (рис. 4). Среди плагиоклазов ведущую роль в них играет андезин-лабрадор, повышено также количество высококальциевых микровкрапленников (рис. 5з).

Титано-магнетиты в этих породах отличаются низкой концентрацией марганца, повышенной глиноземистостью и магниальностью (табл. 2, рис. 6), что также роднит их с изучавшимися нами ранее игнимбритоподобными породами андезито-базальтового состава из толщи узонских игнимбритов плато Широкое [11].

В целом, как видно из вышеизложенного, комплекс отложений, вложенных в долины рек Новый Семячик и Правая Жупанова, во многом близок толще узонских игнимбритов. Ясно, что эти отложения сформировались значительно позже основной толщи этих игнимбритов, обнажающихся по бортам долин. Для уточнения их принадлежности необходимы дальнейшие, более детальные работы, однако представляется, что скорее всего они связаны с Узон-Гейзерным вулканическим центром, в котором, как показано в [11], процесс игнимбритообразования имел длительную и сложную историю.

Уточнение площадей распространения игнимбритов и оценка объемов магмы, выброшенной при игнимбритообразующих извержениях на Восточной Камчатке. Расчленение игнимбритов в бассейне реки Новый Семячик позволяет значительно уточнить области распространения узонских, семячикских и карымских игнимбритов и провести грубую оценку масштабов игнимбритообразующих извержений, имевших место в средне-верхнем плейстоцене в вулканических центрах Восточной Камчатки. Поля распространения трех рассмотренных выше толщ игнимбритов показаны на рис. 7. Наиболее точно в настоящее время можно восстановить распространение узонских игнимбритов, так как они не перекрыты более молодыми породами и меньше других подверглись эрозии. Общая площадь поля, занятого этими игнимбритами, составляет около 2100 км². Мощность их меняется от 4—10 м на удалении от кальдеры до 50-70 м в центральных частях пирокластических потоков. Если принять среднюю мощность для них 20 м, то объем игнимбритов будет составлять около 40 км³. В пересчете на магму (допуская, что плотность риодацитовой магмы и игнимбритов составляет, соответственно, 2.4 и 1.2 г/см³) это составляет 20 км³. Сложнее оценить объем магмы, которая была выброшена при кальдерообразующих извержениях в виде тонкой пирокластики. Рассеянная на расстоянии в сотни и тысячи километров от центров извержения, она в настоящее время не может быть изучена прямыми методами. В то же время ее объем можно оценить по аналогии с другими детально изучавшимися извержениями. Так, при формировании кальдеры Кратерного озера (Crater Lake) в Орегоне было установлено, что объем тонкой пирокластики примерно в 5 раз превышал объем пемзы, отложившейся около кальдеры [22]. Такое же соотношение тонкой пирокластики и материала

пирокластических потоков получено недавно при изучении последнего кальдерообразующего извержения на вулкане Ксудач [1]. Эти оценки близки к тем, что были даны ранее при изучении объемов тефры, извергавшейся в Вулканической зоне Таупо в Новой Зеландии [29, 30]. Изучение концентрации кристаллов в этих тефрах показало, что на большом удалении от центров извержения от 60 до 80% материала обычно рассеивается. Исходя из этих данных можно предположить, что при извержении узонских игнимбритов было выброшено также до 80 км³ тонкой пирокластики. В пересчете на магму (при плотности магмы и тефры, соответственно, 2.4 и 0.7 г/см³) это составляет около 26 км³. Полный объем магмы, выброшенной при извержении узонских игнимбритов, таким образом, можно оценить в 46 км³.

Семячикские игнимбриты, основное поле распространения которых было детально рассмотрено нами ранее [6], занимают площадь около 350-400 км². Необходимо отметить, что на значительной площади эти игнимбриты уничтожены эрозией, а в некоторых местах перекрыты узонскими игнимбритами или более молодыми лавами. Мощность их также меняется очень сильно - от 10 до 200 м. Все это заставляет рассматривать приводящиеся далее данные об их объеме как очень приближенные. Приняв в качестве средней мощность в 40 м, объем семячикских игнимбритов можно оценить в 16 км³ (или 8 км³ магмы). Кроме игнимбритов, значительную часть пирокластики, связанной с кальдерообразованием в Больше-Семячикской структуре, составляют пемзовые кварц-биотитовые туфы, описанные выше. Они связаны с первым этапом игнимбритообразования в данной структуре [6]. Туфы распространены очень широко, они вскрываются почти повсеместно в глубоких долинах, расположенных к западу, юго-западу и к югу от Больше-Семячикского центра (рис. 7). Повсюду они перекрыты узонскими игнимбритами, что не позволяет более или менее точно очертить площадь их распространения. По очень грубой прикидке она может составлять от 400 до 800 км². Возьмем для дальнейших расчетов среднюю площадь - 600 км². При средней мощности этих туфов в 20 м их объем можно оценить в 12 км³ (или 4 км³ магмы). По аналогии с вышеприведенными данными об узонских игнимбритах, рассмотрим также, какой объем магмы мог быть выброшен в Больше-Семячикском центре в виде тонкой пирокластики. Суммарный объем пемзы и игнимбритов составляет 28 км³ и, соответственно, в виде тонкой пирокластики могло быть выброшено около 100 км³, что в пересчете на магму составит около 30 км³. Полный объем магмы, выброшенной при кальдерообразующем извержении в Больне-Семячикском центре, таким образом, составит 42 км³.

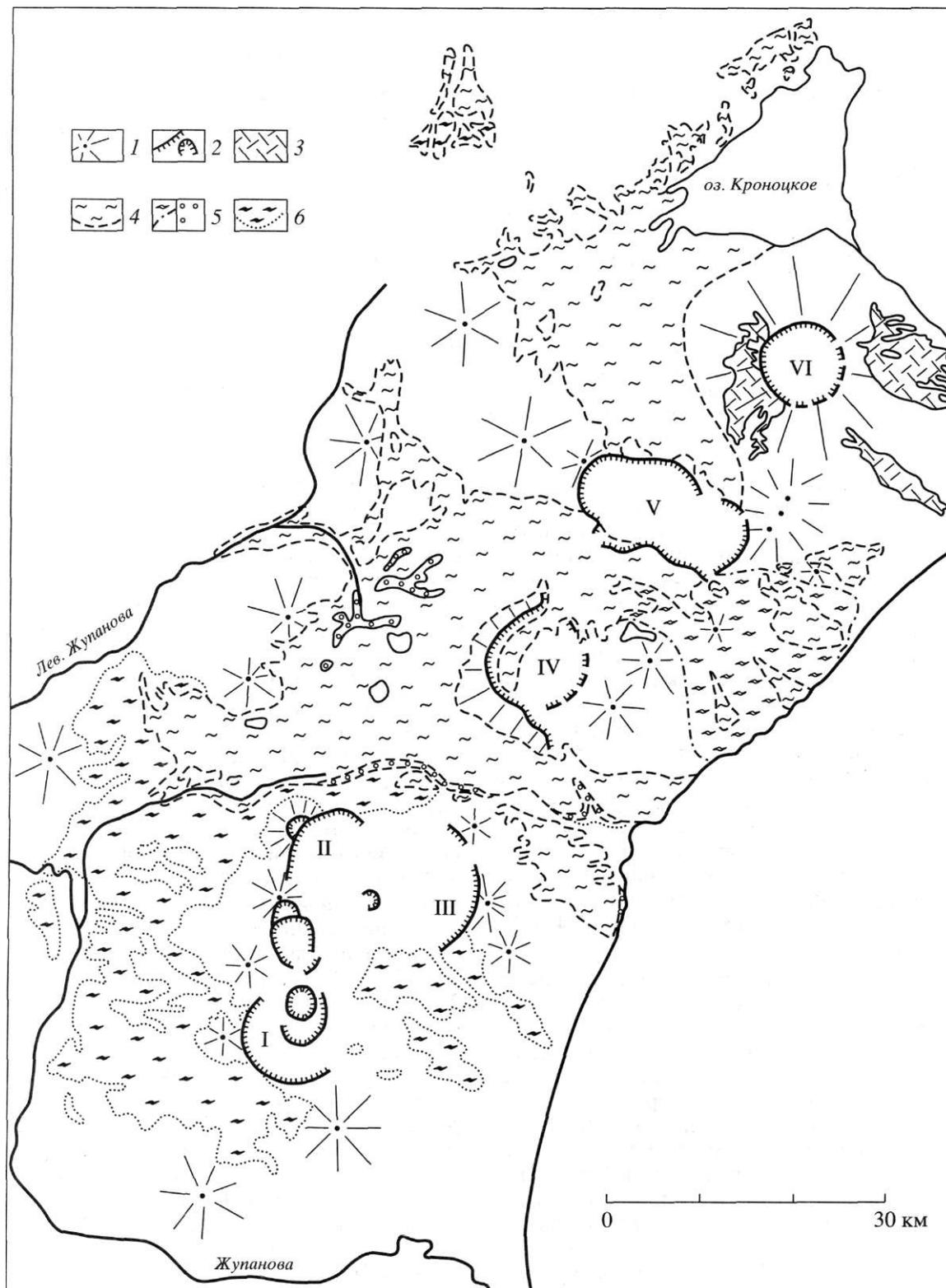


Рис. 7. Поля распространения игнимбритов и пемзовых туфов, связанных с образованием средне-верхнеплейстоценовых кальдер на центральном участке Восточной Камчатки: 1 - вулканы, сформировавшиеся на докальдерном этапе; 2 - кальдеры (I - Крайняя (Половинки), II - Соболиного, III - Стены, IV - Больше-Семячикская, V - Узон-Гейзерная, VI - Крашенинникова); 3 - пемзовые туфы, связанные с формированием кальдеры Крашенинникова (по данным А.О. Цикунова); 4 - игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерной депрессией; 5 - игнимбриты (а) и пемзовые туфы (б), связанные с Больше-Семячикской кальдерой; 6 - игнимбриты, связанные с кальдерами Стены, Соболиного и Крайней (Половинки) в Карымском вулканическом центре (по [5, 15], с уточнениями).

Таблица 3. Количественные данные об игнимбритообразующих извержениях на Восточной Камчатке

Игнимбриты, пемзовые туфы	S , км ²	h , м	V , км ³	V_T , км ³	ΣV , км ³	V_m , км ³
Карымского центра (карымские)	1100	50	55	220	275	100
	400		15	60	75	25
Больше-Семячикского центра (семячикские)	1000	20–40	28	100	128	42
Узон-Гейзерного центра (узонские)	2100	20	40	80	120	46
Пемзовые туфы кальдеры Крашенинникова	600	10	6	24	30	10
Всех вулканических центров	5200		144	484	628	223

Примечание. S – площадь; h – средняя мощность; V – объем игнимбритов и пемзовых туфов; V_T – объем тефры; ΣV – суммарный объем игнимбритов, пемзовых туфов и тефры; V_m – объем магмы. Для Карымского центра указаны: верхняя строчка – игнимбриты, связанные с кальдерами Стены, Соболиного, Крайней (Половинки); нижняя строчка – пемзовые туфы и игнимбриты, связанные с кальдерами вулканов Однобокого, Академии наук и Карымского.

Для игнимбритов, связанных с Карымским центром, мы воспользовались данными из работ [5, 15], а также собственными наблюдениями, изложенными выше. Надо отметить, что на обширных площадях карымские игнимбриты также уничтожены эрозией или перекрыты более молодыми отложениями. По имеющимся данным, их площадь составляет около 1100 км². При средней мощности в 50 м объем карымских игнимбритов можно оценить в 55 км³. Объем тонкой пирокластики, рассеянной на удалении от центра, составит, по аналогии с вышеприведенными расчетами, около 220 км³. Общий объем пирокластики, связанной с формированием кальдер Стены, Соболиного и Крайней (Половинки) в Карымском центре, составит, таким образом, около 275 км³, что близко к оценкам, сделанным ранее [5]. В пересчете на магму (при плотности магмы, игнимбритов и тонкой тефры, соответственно, 2,4, 1,2 и 0,7 г/см³) это будет около 100 км³.

Необходимо отметить, что процесс кальдерообразования и формирование покровов пирокластики в Карымском центре продолжались и после образования кальдер Стены, Соболиного и Крайней (Половинки). Однако масштаб этих процессов был значительно меньше, а среди пирокластики преобладали неспекшиеся разности. По [5], объем преимущественно пемзовых покровов риодацитового состава, сформировавшихся в этот период, составил всего 15 км³ (или около 5 км³ в пересчете на магму). С учетом тонкой фракции, объем которой можно оценить в 60 км³ (20 км³ в пересчете на магму), общий объем магмы, выброшенной в этот период, составил 25 км³.

На рис. 7 кроме кальдерных комплексов Карымского, Больше-Семячикского и Узон-Гейзерного центров показана также кальдера вулкана Крашенинникова. Кальдере окружают обширные поля пемзовых отложений дацитового состава, связанных с ее формированием. Объем этих

отложений оценивается в 6 км³ [18]. В пересчете на магму это составит около 2 км³. С учетом, как и в предыдущих случаях, тонкой пирокластики общий объем магмы, выброшенной на поверхность при этом извержении, составит около 10 км³. Однако эта цифра может быть сильно занижена, так как кальдера и отложения, связанные с ней, изучены еще очень слабо и объем пемзовых покровов может быть больше 6 км³.

Рассмотренные выше данные об объемах пирокластики, выброшенной при кальдерообразующих извержениях в средне-верхнем плейстоцене (в последние 180 тыс. лет) на Восточной Камчатке, суммированы в табл. 3. Полный объем риодацитовой магмы, извергнутой в этот период в виде игнимбритов, пемз и тефры, составляет около 220 км³. Объем этой магмы, извергнутой в виде экструзивных куполов и лавовых потоков, значительно меньше и, по-видимому, не превышает 4–5 км³ (наиболее крупные риодацитовые экструзии в Узон-Гейзерном районе имеют объем всего 2,38 км³ [2]). Отсюда следует, что скорость поступления магмы на поверхность составит около 1,2 км³/тыс. лет. Это немного ниже, чем подобные оценки, сделанные для того же временного интервала в Японии – 2–3 км³/тыс. лет [28], и в 7 раз ниже, чем скорость извержения риолитовой магмы в последние 50 тыс. лет в Вулканической зоне Таупо в Новой Зеландии – 7 км³/тыс. лет [24]. Объем магмы, извергнутой в Вулканической зоне Таупо, также значительно больше – 350 км³ за последние 50 тыс. лет [24] и около 1000 км³ за последние 200 тыс. лет [25].

Выводы. 1. В результате изучения разрезов игнимбритов в бассейне реки Новый Семячик на Восточной Камчатке показано, что среди них необходимо выделять три толщи, связанные, соответственно, с кальдерными комплексами Карымского, Больше-Семячикского и Узон-Гейзерного районов (карымские, семячикские и узонские иг-

нимбриты). Формирование их не было одноактным процессом, в их разрезах пласты собственно игнимбритов перемежаются со слоями вулканогенно-осадочных, озерных и ледниковых отложений.

2. Установлено, что обширные поля игнимбритов, распространенных в нижнем течении рек Новый и Старый Семячик, а также на побережье Кроноцкого залива в районе поселка Жупаново, являются узонскими (а не семячикскими или карымскими, как это представлялось ранее [5, 10, 15, 17]).

3. Выявленные три толщи игнимбритов (карымские, семячикские и узонские) последовательно перекрывают друг друга. Это, наряду с имеющимися данными об их возрасте [5, 6, 15, 16], свидетельствует о том, что процессы игнимбритообразования на данном участке Восточной Камчатки постепенно смещались в северо-восточном направлении.

4. Подтверждено выявленное ранее [6, 7] значимое отличие игнимбритов разных толщ по такому показателю, как соотношение железистости и марганцевистости ортопироксенов. Этот корреляционный признак может использоваться, по-видимому, для расчленения сложных толщ игнимбритов и в других районах.

5. Проведенные работы позволили существенно уточнить границы распространения карымских, семячикских и узонских игнимбритов. По восстановленным полям распространения приблизительно рассчитан их объем, а также объем извергнутой магмы. Он оценен, соответственно, в 100, 42 и 46 км³. Полный объем риодацитовой магмы, извергнутой в последние 180 тыс. лет на рассматриваемом участке Восточной Камчатки, оценен в 220 км³, скорость ее поступления на поверхность – в 1.2 км³/тыс. лет.

Авторы выражают признательность В.М. Чубарову, благодаря усилиям которого стало возможным проведение большого объема аналитических работ на рентгеновском микроанализаторе "Самебах" и получение качественных анализов состава минеральных фаз в пирокластических отложениях рассмотренных кальдерных структур.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант № 96-05-66243.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Кирьянов В.Ю. Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700–1800 ¹⁴С лет назад // Вулканология и сейсмология. 1995. № 2. С. 30–49.
- Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65–79.
- Влодавец В.И. Вулканы и вулканические образования Семячикского района // Тр. Лаб. вулк. АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Вып. 15. 196 с.
- Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 264 с.
- Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Отв. ред. Масуренков Ю.П. М.: Наука, 1980. 300 с.
- Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриты кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5–6. С. 34–50.
- Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриты Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии, Камчатка: сопоставление разрезов, состав, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 15–33.
- Иванов Б.В. Игнимбриты района вулканов Карымской группы // Вулканические фации Камчатки. М.: Наука, 1969. С. 105–109.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карнов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки: В 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 94–141.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Вулкан Большой Семячик // Действующие вулканы Камчатки: В 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 144–159.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Кальдеры и игнимбриты Узонско-Семячикского района, Камчатка: новые данные по результатам изучения разрезов плато Широкое // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 41–59.
- Мелекесцев И.В. Масштаб и возраст последней крупнейшей вспышки кислого вулканизма на Камчатке // Вулканизм и геохимия его продуктов. М.: Наука, 1967. С. 82–92.
- Пийп Б.П. Кроноцкие игнимбриты на Камчатке // Тр. Лаб. вулканол. АН СССР. 1961. Вып. 20. С. 90–91.
- Селянгин О.Б. Карымская группа вулканов. Вулканы Карымский и Малый Семячик // Вулканы, геотермальные системы Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 107–137.
- Селянгин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитовый серии в связи с эволюцией вулcano-структур. М.: Наука, 1987. 148 с.
- Флоренский И.В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 102–106.
- Флоренский И.В., Трифонов В.Г. Новейшая тектоника и вулканизм Восточной вулканической зоны Камчатки // Геотектоника. 1985. № 4. С. 78–87.
- Фролова М.Л. Район Кроноцкой сопки и вулкана Крашенинникова // Вулканы, геотермальные системы Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 193–223.
- Шеймович В.С. Игнимбриты Камчатки. М.: Недра, 1979. 179 с.
- Шеймович В.С., Брайцева О.А., Краевая Т.С. Четвертичные игнимбриты Семячикского района на Камчатке // Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973. С. 110–120.

21. Эрлих Э.К., Мелекесцев И.В. Четвертичный кислый вулканизм западной части Тихоокеанского кольца // Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973. С. 4–39.
22. Bacon C.R. Eruptive history of Mount Mazama and Crater Lake caldera, Cascade Range, U.S.A. // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1983. V. 18. P. 57–115.
23. Byers J.F.M., Carr W.J., Orkild P.P. Volcanic Centers of Southwestern Nevada: Evolution of Understanding, 1960–1988 // *J. Geophys. Res.*, 1989. V. 94. B. 5. P. 5908–5924.
24. Froggatt P.C. Review of methods of estimating rhyolitic tephra volumes: applications to the Taupo volcanic zone, New Zealand // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1982. V. 14. P. 301–318.
25. Houghton B.F., Wilson C.J.N., McWilliams M.O., Lanphere M.A., Weaver S.D., Briggs R.M., Pringle M.S. Chronology and dynamics of a large silicic of a large silicic magmatic system: Central Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *Geology*. 1995. V. 23. № 1. P. 13–16.
26. Lipman P.W. Ash-flow sheets and calderas of the San Juan Volcanic Field, Colorado, U.S.A. – new result and remaining problems for a long-studied volcanic region // *Int. Volcanol. Congr.*, Ankara, Sept. 12–16. 1994: Abstr./IAVCEI – Ankara. 1994. (Theme 4).
27. Nairn I.A., Wood C.P., Bailey R.A. The Reporoa Caldera, Taupo Volcanic Zone: source of the Kaingaroa Ignimbrites // *Bull. Volcanol.* 1994. V. 56. № 6–7. P. 529–537.
28. Okumura K. Recurrence of large pyroclastic flows and innovation of volcanic activity in Eastern Hokkaido // *Kagoshima Int. Conf. on Volcanoes. Abstr.* 1988. P. 398.
29. Walker G.P.L. The Taupo Pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1980. V. 8. P. 69–94.
30. Walker G.P.L. The Waimihia and Hatepe plinian deposits from the rhyolitic Taupo Volcanic Centre // *N.Z.J. Geol. Geophys.* 1981. V. 24. P. 305–324.
31. Wilson C.J.N., Rogan A.M., Smith I.E.M., Horthey D.J., Nairn I.A., Houghton B.F. Caldera Volcanoes of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *J. Geophys. Res.*, 1984. V. 89. P. 8463–8484.

Ignimbrite Differentiation and Estimation of the Volume of Magma Ejected during Ignimbrite Forming Eruptions in East Kamchatka

V. L. Leonov, E. N. Grib, L. A. Kartasheva

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

This study was carried out in the central segment of the East Kamchatka volcanic belt, distinguished by a wide development of ignimbrites which cover an area of ~4000 km². Ignimbrites fill several calderas located in the central parts of three major volcanic centers: Karymskii, Bolshoi Semyachik, and Uzon-Geisernyi. They range in age between 35 000 and 180 000 years. Ignimbrites were examined in the Novyi Semyachik R. valley stretching along a boundary between the Karymskii and Bolshoi Semyachik volcanic centers, where their sections were described in detail. The study of their mineral compositions revealed differences between the rocks produced by different volcanoes. As a result, the limits of the ignimbrite fields were defined more exactly, and the ignimbrite volumes were calculated. The total volume of the rhyodacite magma ejected during the eruptions that had occurred in East Kamchatka during the last 180 000 years was estimated as 1.2 km³/thou. years.