

УДК 550.422

## ВКЛЮЧЕНИЯ РАСПЛАВА ВО ВКРАПЛЕННИКАХ КВАРЦА В КИСЛЫХ ПОРОДАХ БАННО-КАРЫМШИНСКОГО РАЙОНА (КАМЧАТКА)

© 2016 г. Е. Н. Гриб, В. Л. Леонов, С. А. Рылова, Т. М. Философова,  
А. Н. Рогозин, Е. С. Кляпицкий

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,  
e-mail: gen@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.

Банно-Карымшинский район расположен в южной части полуострова Камчатка к западу от Восточно-Камчатского вулканического пояса в тыловой части Курило-Камчатской островной дуги. Уникальной особенностью района является широкое развитие значительных объемов продуктов известково-щелочного кислого, преимущественно, игнимбритового, вулканизма на протяжении 4 млн лет. Выделяются три комплекса пород риолитового и риодацитового состава: средне-плиоценовые игнимбриты, кристаллокластические туфы эоплейстоценового возраста, выполняющие кальдеру Карымшина, и ранне-плейстоценовые экструзии. Все они относятся к породам с нормальной общей щелочностью, а по содержанию калия располагаются на границе умеренно- и высококальциевых пород. Для выявления состава исходных кислых расплавов изучался состав силикатной фазы гомогенных расплавных включений, законсервированных во вкрапленниках кварца из разновозрастных вулканических пород. Практически все проанализированные расплавные включения отличаются повышенной общей щелочностью и относятся к трахириодацитам, трахириолитам, а наиболее щелочные разности – к щелочным риолитам и комендитам; по концентрации  $K_2O$  – к субщелочным породам; характерна также повышенная глиноземистость кислых расплавов. Состав и пространственное расположение расплавных включений во вкрапленниках кварца свидетельствует о трехэтапной кристаллизации их в разноглубинных магматических камерах. Согласно экспериментальным данным, кристаллизация вкрапленников кварца происходила в условиях насыщения расплава водой и давлении от 0.1 до 3.5 кбар.

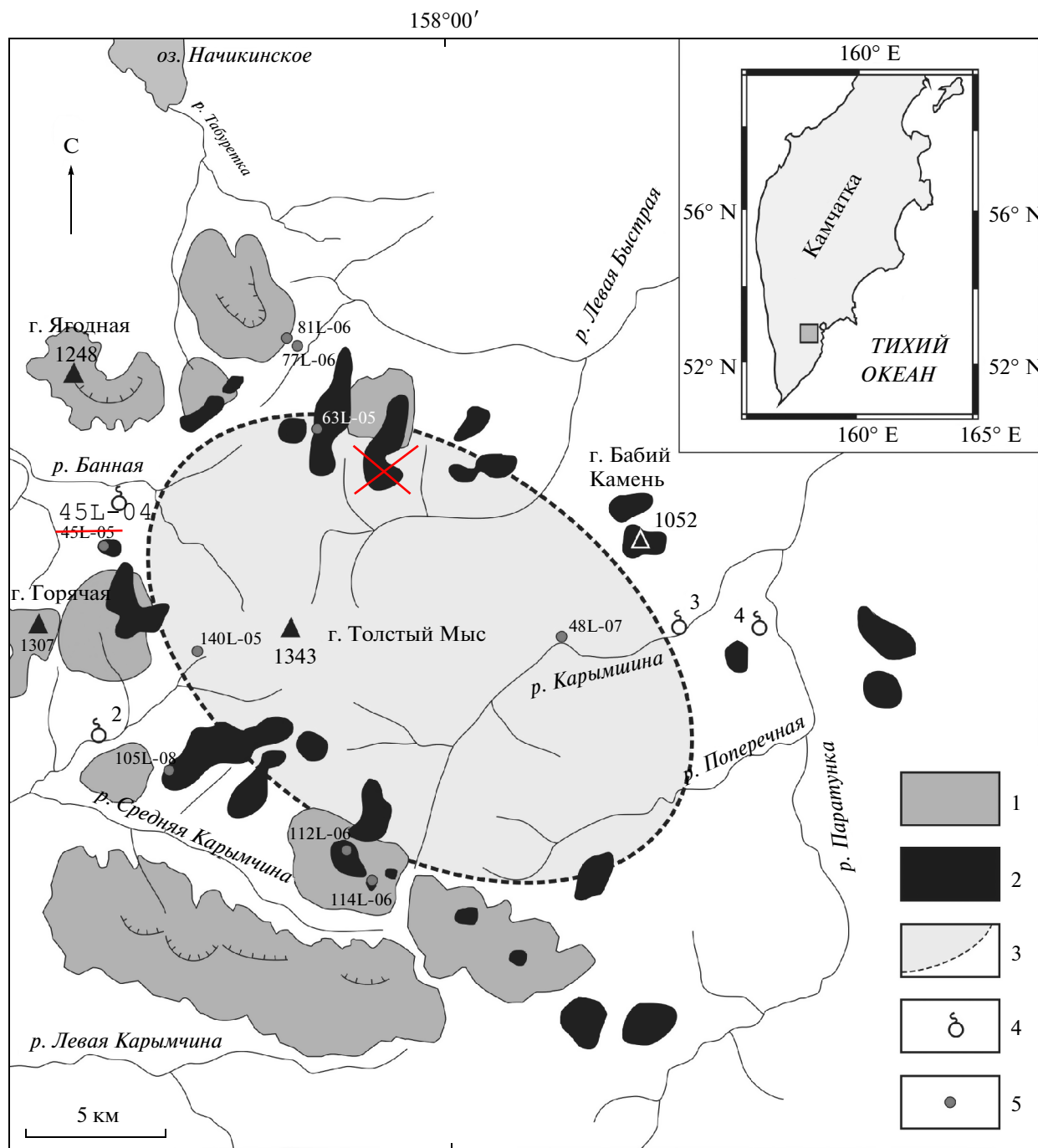
DOI: 10.7868/S0203030616020048

### ВВЕДЕНИЕ

Банно-Карымшинский район расположен в южной части полуострова Камчатка к западу от Восточно-Камчатского вулканического пояса в тыловой зоне Курило-Камчатской островной дуги. Расстояние до оси глубоководного желоба составляет порядка 300 км, а глубина до сейсмофокальной зоны – 140–150 км. Ближайшие наиболее крупные вулканы – Горелый и Вилючинский – расположены к юго-востоку от рассматриваемой территории. В структурном отношении район приурочен к стыку Начикинской складчато-глыбовой зоны северо-западного простиранья и Камбально-Гореловского грабена. Границей между этими структурами является так называемый “Вилючинский линеамент” – крупная зона дислокаций северо-западного простиранья, пересекающая всю южную часть полуострова. Уникальной особенностью Банно-Карымшинского района является широкое развитие значительных объемов продуктов известково-щелочного кислого, преимущественно игнимбритового, вулканизма на протяжении порядка 3–4 млн лет [Леонов, Рогозин, 2007; Леонов и др., 2012; 2013]. По масшта-

бам изверженного материала он сопоставим с проявлениями мелового кислого вулканизма в Охотско-Чукотском вулканическом поясе, заложенном на окраине Северо-Азиатского континента. Существует представление [Аникин, Миллер, 2011], что эти структуры являются звеньями одной цепи. В северо-западном секторе Тихоокеанского кольца авторами этой статьи выделяется несколько разновозрастных периокеанических вулкано-плутонических поясов надсубдукционной природы, начиная от позднечукотско-мелового, относимого к Охотско-Чукотскому поясу, кампан-палеоценового – к Анадырско-Бристольскому, эоцен-миоценового – к Камчатско-Корякскому, олигоцен-миоценового – к Срединно-Камчатскому до плиоцен-голоценового – к Курило-Камчатскому, к которому и относится Банно-Карымшинский район. Несмотря на то, что все пояса частично перекрываются, каждый из них расположен в относительно самостоятельных ареалах континентального обрамления Северо-Востока Азии с тенденцией снижения возраста поясов в сторону Тихого океана.

Начиная со среднего плиоцена до раннего плейстоцена, в рассматриваемом районе выделя-



**Рис. 1.** Схема Банно-Карымшинского района.

1 – докальдерные вулканы; 2 – посткальдерные экструзии и лавовые потоки; 3 – границы кальдеры, выполненной пирокластическими отложениями; 4 – термальные источники (1 – Больше-Баннные, 2 – Карымчинские, 3 – Карымшинские, 4 – Верхне-Паратунские). Цифрами указаны места отбора образцов, используемых в данной работе.

ются три этапа известково-щелочного риолитового вулканизма, которые разделены значительными перерывами и формированием вулканогенных толщ, существенно отличающихся по составу лав и пирокластике (рис. 1) [Леонов, Rogozin, 2007; Леонов и др. 2012, 2013]. Наиболее древний этап характеризует комплекс I, который представ-

лен дацитовыми, риолитовыми и риодацитовыми лавами, туфами, туфобрекчиями и игнимбритами. Они отличаются бимодальным распределением: андезидациты-дациты (62.3–65.1 вес. % SiO<sub>2</sub> и риодациты (71.1–72.34 вес. % SiO<sub>2</sub>) и вскрываются в разрезах вулканических пород, составляющих фун-

дамент кальдеры Карымшина. Возраст их  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  методом оценивается в 3.3–4.01 млн лет (средний плиоцен). Игнимбристы, относящиеся к этому этапу, вскрываются в верховьях ручья Начикинский и в районе горы Сычуган. Следующий этап риолитового вулканизма представлен комплексом II – это игнимбристы, связанные непосредственно с кальдерой Карымшина. Состав их варьирует от андезитов до риолитов (60.371–74.52 вес. %  $\text{SiO}_2$ ). Они имеют эоплейстоценовый возраст (1.7–1.2 млн лет), а область их распространения приурочена к верховьям рек Карымчина, Карымшина, Банная и Левая Быстрая. Кальдера имеет размер  $15 \times 25$  км и выполнена кристаллокластическими туфами и игнимбристами мощностью 1000 м и объемом  $825 \text{ км}^3$  [Леонов, Рогозин, 2007]. Это позволило рассматривать кальдеру Карымшина, как крупнейшую из известных до сих пор на Камчатке и отнести ее к супервулканам [Mason et al., 2004]. Наиболее молодой этап кислого вулканизма в районе представлен риолитовыми экструзиями посткальдерного этапа (комплекс III), которые приурочены к кольцевому разлому, ограничивающему кальдеру Карымшину. Возраст экструзий 0.8–0.5 млн лет. Лавы представлены риодацитами и риолитами (70.6–77.4 вес. %  $\text{SiO}_2$ ).

Целью данной статьи является изучение состава расплавов, участвующих в формировании кислых вулканических пород Банно-Карымшинского района в разные периоды его истории. Для этой цели были изучены расплавные включения (РВ), законсервированные при кристаллизации вкрапленников кварца в риолитах и риодацитах трех выделенных комплексов.

Исследование включений в минералах дает надежную информацию о составе минералообразующей среды и условиях кристаллизации расплава в вулканических очагах и подводящих каналах до поступления их к месту кристаллизации [Бакуменко и др., 1976; Ермаков, Долгов, 1979; Наумов и др, 2008]. На основе изучения состава захваченных кристаллических фаз мы получаем сведения о более ранней интрателлурической стадии развития магматической системы.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Из протоколов игнимбристов и лав экструзий риолитового и риодацитового составов под биноклем выделялись вкрапленники кварца, из них изготавливались полированные пластинки толщиной 0.3 мм, в которых в дальнейшем изучался характер распределения и тип расплавных включений (РВ).

Составы стекол и кристаллических фаз были получены на рентгено-спектральном микроанализаторе “Самебах” в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН. Изучение вклю-

чений происходило при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе 30 нА. При анализе содержимого вакуолей параллельно проводился анализ состава вмещающего кварца с целью контроля точности анализа и захвата матрицы при анализе тонких кристаллических фаз. Стекло РВ анализировалось в точке и по площади (растром), что позволяло контролировать возможные потери щелочей. Анализ фаз проводился в нескольких точках. В качестве стандартов использовались международные стандарты природных минералов и искусственных гомогенных стекол со строго установленными содержаниями отдельных элементов. Точность анализа составила 1.5–2%. Всего изучено 84 расплавных включений, из них 20 двухфазных (стекло + газ) и 8 комбинированных, остальные в различной степени частично раскристаллизованные.

## ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОРОД

Для изучения составов исходных игнимбристообразующих расплавов Банно-Карымшинского района был отобран материал из наиболее ранних игнимбристов (образцы 77-06Л и 81-06Л) из разреза в верховьях ручья Начикинского и кристаллокластических туфов, связанных с образованием кальдеры Карымшина, заполнивших ее в процессе обрушения (образцы 48-07Л, среднее течение реки Карымшина и 140-05Л, западный склон горы Толстый Мыс) (см. рис. 1, табл. 1). Состав кислых расплавов, участвующих в формировании экструзий, изучался на образцах лав эструзивных куполов и связанных с ними потоков, приуроченных к кольцевому разлому, ограничивающему кальдеру Карымшина (образец 45-04Л, гора 1063 м, западный борт структуры, образцы 112-06Л и 114-06Л, гора 1439 м, юго-западный борт, образец 63-05Л, гора 1126 м, северный борт, образец 105-08Л, юго-западный борт структуры). Ниже приводится описание пород.

*Игнимбристы ручья Начикинский* представляют собой серую с красновато-бурым оттенком кристалловитрокластическую породу массивной текстуры. В основной массе, преимущественно, в шлифах, видны мелкие фьяммеподобные обособления стекла. Кристаллокласты (вкрапленники и их обломки) представлены плагиоклазом, кварцем, санидином, биотитом, титаномagnetитом и ильменитом. Количество их варьирует в пределах 25–50% от объема породы, Размер колеблется от 0.05 до 0.5 мм, реже 1.5–2.5 мм. Состав плагиоклаза изменяется от андезина  $\text{An}_{37-54}$  до натриевого олигоклаза  $\text{An}_{18-19}$  (табл. 2). Преобладают слабо зональные вкрапленники кальциевого олигоклаза  $\text{An}_{20-27}$ . Андезин встречается в виде кородированных ядер в зональных кристаллах, реже – не зональных. Калиевый полевой шпат представлен санидином довольно постоянного состава ( $\text{Ab}_{25-28}\text{Or}_{71-77}$ ), кальций присутствует в незначительных количествах (0.11–0.17

**Таблица 1.** Химический состав проанализированных образцов кислых вулканитов Банно-Карымшинского района, вес. %

№ образца	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	Сумма
Игнимбриты по ручью Начикинскому										
77-06Л	71.15	0.32	14.22	2.88	0.08	0.87	1.73	3.63	3.62	100.34
Игнимбриты кальдеры Карымшиной										
48-07Л	72.0	0.28	14.20	3.36	0.09	0.92	2.45	3.79	1.94	99.96
140-05Л	70.29	0.32	14.75	2.54	0.08	0.74	2.34	4.13	3.15	101.78
Экструзии посткальдерные										
45-04Л										
45-05Л	73.01	0.24	12.74	1.77	0.08	0.32	1.95	4.44	3.81	100.32
63-05Л	75.60	0.23	13.20	1.07	0.07	0.38	1.48	4.04	3.36	99.97
112-06Л	76.98	0.15	12.40	1.15	0.07	0.34	0.87	3.70	3.70	99.87
114-06Л	76.30	0.15	12.80	0.86	0.07	0.28	0.96	4.00	3.71	99.96
105-08Л	74.70	0.17	12.90	1.70	0.08	0.33	1.08	4.05	3.65	100.74

мас. %); изредка встречаются зональные кристаллы. Зональность определяется содержанием калия и бария. Содержание BaO в санидинах составляет 1.33–1.5 мас. %. Биотит представлен вкрапленниками и лейстами с железистостью (fm) 44–46. В основной массе встречаются микрокристаллы (30–40 мкм) хлор-фтористого апатита и циркона. В апатите содержится 1.4–1.6 мас. % Cl и 4–6.5 мас. % F. Такие высокие концентрации фтора характерны для апатитов тыловых зон островных дуг [Чурикова и др., 2004], к которым и относится Банно-Карымшинская структура. Стекло основной массы представлено высококремнистым высококалийным риолитом нормальной щелочности (77.5–78.79% SiO<sub>2</sub>, 4.63–5.52% K<sub>2</sub>O, 2.91–3.63% Na<sub>2</sub>O), отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0.48–0.63.

*Игнимбриты кальдеры Карымшина* представляют собой типичные кристалло-литокластические туфы высокой степени спекания с невадитовой структурой, обусловленной большим скоплением кристаллокластического материала (до 55% от объема породы). Структура основной массы пепловая, псевдофлюидальная. Литокластические обломки не превышают 5–10 об. %. Цвет игнимбритов варьирует от серого с оттенками бурого до темно-серого. Вкрапленники и их обломки представлены плагиоклазом, кварцем, биотитом, титаномагнетитом и ильменитом. В отличие от более древних игнимбритов, санидин в них отсутствует. Среди вкрапленников преобладает плагиоклаз состава олигоклаз An<sub>19–27</sub>. В зональных кристаллах оплавленные трещиноватые ядра сложены андезин-лабрадором An<sub>50–55</sub>, в единичных случаях биотитом An<sub>70–76</sub>. В плагиоклазе отмечены твердофазные включения, представленные магнетитом, титаномагнетитом, ильменитом, хлор-apatитом, биотитом. Железистость биотита (fm) 38–42. Во

вкрапленниках титаномагнетита содержится 4.2–4.6 мас. % TiO<sub>2</sub>, в ильменитах – 42–44 мас. % TiO<sub>2</sub>.

*Экструзивные образования.* Среди них можно выделить тела, породы которых содержат вкрапленники санидина (образцы 114-06Л, 63-05Л и 105-08Л) и не содержат его. К последним относятся риолиты экструзии Ящик (гора 1063 м, образец 45-04Л), расположенной над Больше-Банными термальными источниками и горы 1439 (образец 112-06Л). Для санидинсодержащих риолитов характерны слабозональные плагиоклазы состава олигоклаз An<sub>15–20</sub>. В редких зональных кристаллах ядра сложены андезином An<sub>32–36</sub>, реже андезин-лабрадором An<sub>52–60</sub>. Вкрапленники санидина преимущественно зональны, иногда с резорбированными ядрами. Состав варьирует в пределах Ab<sub>31–42</sub>Or<sub>55–69</sub>. Кальций встречается в незначительных количествах. Высококальциевые санидины слагают узкие промежуточные или центральные зоны кристаллов. Иногда зональность имеет осцилярный характер. Содержание BaO в санидинах варьирует в пределах 0–3.57 мас. %. Закономерности в содержании бария очень неоднозначны, но для вкрапленника санидина с осцилярной зональностью концентрация его возрастала в зонах с более низким содержанием K<sub>2</sub>O. В риолитах без вкрапленников санидина (экструзия Ящик), плагиоклаз более основной и представлен слабозональным кальциевым олигоклазом An<sub>24–28</sub>. Вкрапленники биотита в риолитах имеют железистость (fm) 41–46, содержание TiO<sub>2</sub> в них варьирует в пределах 3.7–4.5. В санидинсодержащих разностях биотит более железистый (fm = 43–45).

**Таблица 2.** Состав стекол расплавных включений во вкрапленниках кварца и стекол основной массы в кислых породах Банно-Карымшинского района, мас. %

№ образца	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
Игнимбриты среднеплиоценового возраста								
77-06Л	71.33		14.83	0.65	0.51	4.76	5.96	98.04
	72.83		13.93	0.41	0.48	5.42	5.45	98.52
	72.4		13.72	0.5	0.57	3.38	5.32	95.89
	73.34		13.43	0.4	0.51	3.13	5.16	95.97
	72.54		14.42	0.63	0.38	5.05	5.6	98.62
	71.77		14.1	0.61	0.37	4.17	5.41	96.43
	71.64		14.9	0.52	0.39	4.3	5.78	97.53
	72.21		14.51	0.48	0.41	4.11	5.86	97.58
	71.73		14.47	0.52	0.38	4.08	5.77	96.95
	71.79		14.48	0.44	0.38	4.13	5.89	97.11
	71.27		15.15	0.6	0.51	4.27	5.94	97.74
	70.9		14.99	0.45	0.43	4.27	5.96	97.00
	71.29		15.57	0.64	0.56	4.1	6.03	98.19
	71.54		15.24	0.56	0.61	4.01	6.08	98.04
	70.85		15.3	0.52	0.64	4.17	6.07	97.55
	71.34		15.07	0.67	0.67	4.06	6	97.81
	70.89		15.21	0.54	0.71	4.26	5.93	97.54
	71.13		15.31	0.66	0.58	4.07	6.02	97.77
	72.29		14.78	0.6	0.63	4.61	5.72	98.63
	70.86		15.3	0.5	0.68	4.04	5.94	97.32
	71.29		13.97	0.55	0.39	4.82	5.51	96.53
	71.01		13.74	0.51	0.35	4.74	5.63	95.98
	71.26		13.72	0.53	0.41	3.95	5.55	95.42
	71.83		14.1	0.5	0.48	4.03	5.59	96.53
	72.85		13.91	0.45	0.35	4.02	5.66	97.24
	72.75		13.9	0.43	0.5	4.97	5.46	98.01
	71.27		14.24	0.41	0.48	4.12	5.61	96.13
	71.65		14.6	0.35	0.45	4.18	5.67	96.90
	71.01		14.66	0.44	0.5	4.24	5.66	96.51
81-06Л	70.96		15.1	0.64	0.7	5.01	6.06	98.47
Игнимбриты эоплиоценового возраста								
48-07Л	72.66		15.83	0.62	0.61	4.38	5.68	99.78
	73		15.55	0.55	0.7	4.21	5.62	99.63
Экструзии плейстоценового возраста								
45-04Л	71.25		15.95	0.10	0.27	4.71	5.35	97.63
	70.91		15.89	0.12	0.33	4.69	5.23	97.17
	77.37		12.65	0.14	0.34	4.51	4.15	99.16
	69.42		16.14	0.13	0.48	4.68	5.83	96.68
	72.25	0.22	15.65	0.15	0.49	4.68	5.46	98.90
	69.70		16.36	0.18	0.30	3.66	5.92	96.12
	69.97		16.27	0.21	0.34	3.86	5.82	96.47
	75.84		12.62	0.18	0.35	3.18	4.98	97.15
	75.36	0.27	13.03	0.28	0.90	3.30	4.51	97.65
	76.19		12.74	0.35	0.45	3.29	4.85	97.87
	76.27		12.70	0.21	0.44	3.05	4.83	97.50
	75.79		12.63	0.33	0.43	3.33	4.84	97.35
	75.09		12.51	0.27	0.45	3.78	4.94	97.04

Таблица 2. Окончание

№ образца	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
Экструзии плейстоценового возраста								
63-05Л	74.05		13.97	0.26	0.36	3.80	6.87	99.31
	75.33		13.95	0.1	0.2	3.82	6.25	99.65
	73.16	0.26	16.32	0.59	0.74	3.45	6.24	100.76
	73.82	0.22	16.34	0.7	0.76	3.63	6.22	101.69
	73.2		16.11	0.67	0.67	2.97	6.14	99.76
	76.04	0.25	14.84	0.7	0.78	3.35	5.48	101.44
	72.99		16.13	0.6	0.83	3.51	6.02	100.08
	73.58		15.98	0.61	0.68	2.98	5.98	99.81
	72.41	0.23	16.02	0.64	0.79	3.60	6.10	99.79
	73		16.53	0.79	0.82	3.60	6.10	100.84
	72.25	0.22	16.4	0.73	0.89	3.61	5.98	100.08
	72.66		16.71	0.71	0.86	3.49	6.10	100.53
	114-06Л	75.8		13.2	0.46	0.26	4.36	5.44
105-08Л	72.15		15.13	0.57	0.58	2.84	6.04	97.31
	78.42		12.73	0.24	0.35	5.56	4.37	101.67
	76.61		12.24	0.62	1.03	4.75	2.99	98.24
112-06Л	73.33		14.79	0.58	0.44	3.55	5.52	98.21
	73.25		14.91	0.52	0.49	3.50	5.39	98.06
	73.71		14.86	0.52	0.51	3.42	5.52	98.54
	73.9		14.83	0.53	0.46	4.25	5.61	99.58
	73.43		14.76	0.46	0.57	4.10	5.51	98.83
	74.29		14.7	0.44	0.6	3.72	4.96	98.71
	72.92		15.67	0.62	0.56	3.90	5.44	99.11
	73.64		15.37	0.5	0.48	3.70	5.61	99.30
	73.52		15.21	0.67	0.48	3.61	5.47	98.96
73.76		15.34	0.57	0.57	4.31	5.42	99.97	
Стекло основной массы риолитов экструзий								
114-06Л	78.83		12.38	0.42	0.09	1.62	5.66	98.97
	76.82		12.07	0.52	0.25	1.42	5.41	96.59
	78.32		12.41	0.35	0.1	1.44	5.54	98.16
	76.30		12.42	0.38	0.31	1.50	5.23	96.14
112-06Л	77.67		12.59	0.23	0.17	1.89	6.13	98.68
	77.45		12.16	0.55	0.32	2.58	5.13	98.36
45-04Л	76.11		12.62	0.06	0.67	2.22	4.88	96.56
	76.06		12.25	0.05	0.64	1.93	4.94	95.87
	74.76		12.16	0.08	0.64	2.62	5.4	95.4
105-08Л	77.25		12.83	0.53	0.23	2.96	5.37	99.16
	76.92		12.54	0.35	0.21	1.82	5.42	97.25
	77.66		12.76	0.44	0.26	1.75	5.29	98.01
	77.13		12.22	0.48	0.28	1.85	5.39	97.35
77.35		12.16	0.46	0.23	1.68	5.25	97.43	
	63-05Л	77.18		12.78	0.1	0.26	2.39	6.13
77.54		12.98	0.11	0.47	2.8	5.93	98.9	

**Таблица 3.** Состав вкрапленников в кислых породах Банно-Карымшинского района, мас. %

Фаза	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	Сумма
Игнимбриты среднеплиоценового возраста											
Pl <sub>ц</sub>	65.86	0.0	25.52	0.17	0.0	0.0	7.69	6.71	0.48		100.43
Pl <sub>кр</sub>	61.98	0.0	24.24	0.11	0.0	0.0	5.21	8.17	0.83		100.54
San	63.7	0.0	19.15	0.11	0.0	0.0	0.13	2.69	12.11	1.33	97.9
Bi	37.04	4.54	13.69	17.63	12.11	0.37	0.12	0.51	9.80		98.88
TiMt	0.0	3.88	0.55	94.29	0.01	0.30	0.0	0.0	0.0		99.14
Ilm	0.16	45.72	0.08	41.26	0.333	3.41	0.0	0.0	0.0		95.13
Игнимбриты эоплиоценового возраста											
Pl <sub>ц</sub>	61.62	0.0	24.93	0.23	0.0	0.0	5.99	7.53	0.68		100.98
Pl <sub>кр</sub>	61.77	0.0	23.71	0.19	0.0	0.0	4.54	8.05	0.86		99.12
Bi	37.58	4.17	14.15	15.46	13.71	0.35	0.0	0.48	9.38		99.23
TiMt	0.0	4.17	0.83	95.2	0.08	0.37	0.0	0.0	0.0		100.68
Экструзии плейстоценового возраста											
Pl <sub>ц</sub>	64.08	0.0	22.03	0.15	0.0	0.0	3.72	9.37	0.99		100.34
Pl <sub>кр</sub>	65.08	0.0	22.33	0.16	0.0	0.0	3.48	9.59	0.97		101.61
San <sub>ц</sub>	64.26	0.0	19.38	0.10	0.0	0.0	0.12	3.81	11.43	1.07	99.63
San <sub>кр</sub>	63.4	0.0	19.11	0.03	0.0	0.0	0.11	3.66	11.03	2.99	99.73
Bi	37.06	3.84	14.31	18.02	12.75	0.40	0.0	0.33	9.23		99.91
Gl	76.82	0.11	12.17	0.52	0.05	0.0	0.28	1.42	5.41		96.75

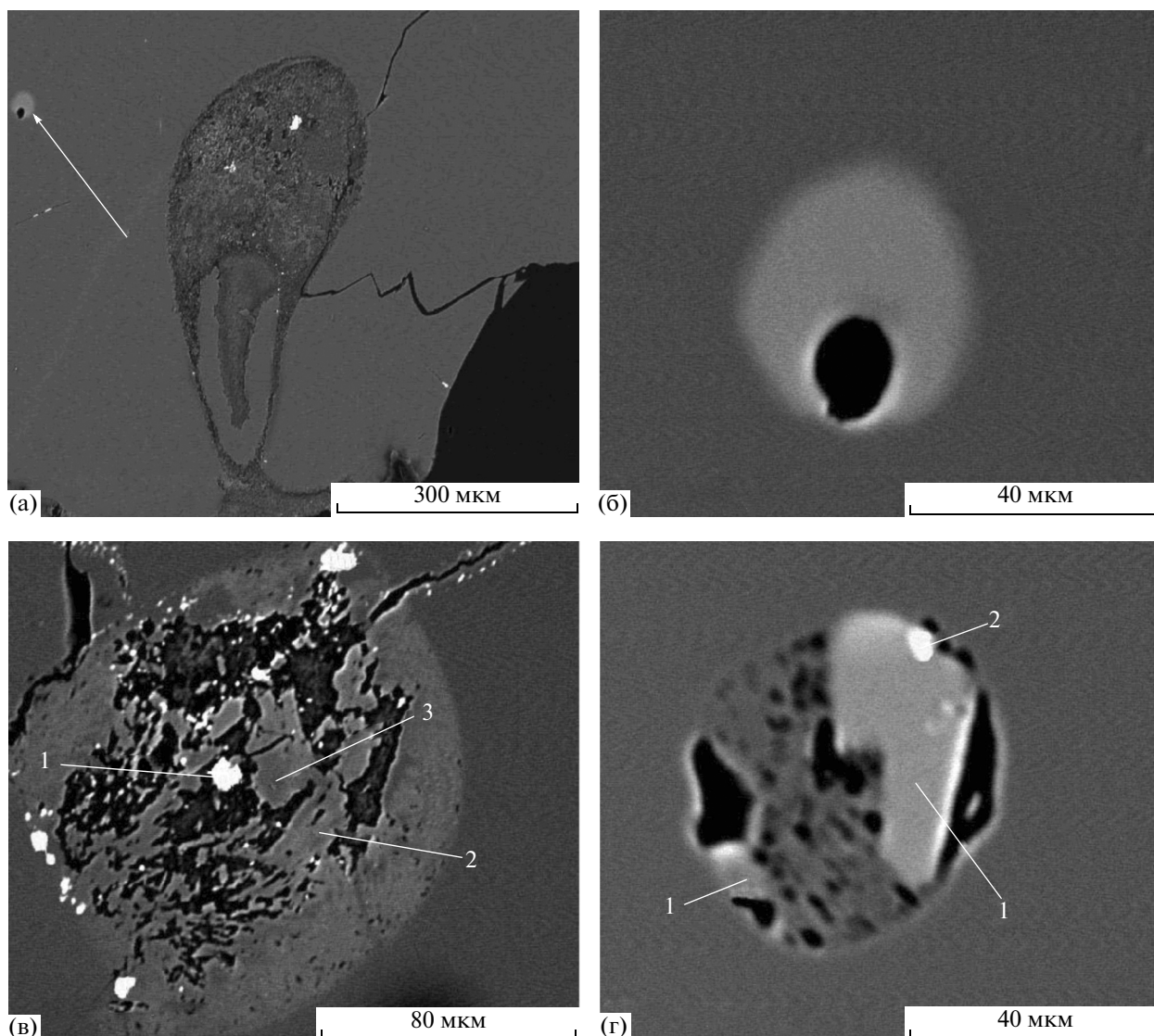
Примечание. Символы минералов-вкрапленников: Pl – плагиоклаз, San – санидин, Bi – биотит, TiMt – титаномагнетит, Ilm – ильменит, Gl – стекло, ц – центр вкрапленника, кр – край вкрапленника.

### ТИП И СОСТАВ ВКЛЮЧЕНИЙ

Выделяется два типа вкрапленников кварца. К первому относятся относительно крупные кристаллы (0.8–1.5 мм) и их обломки, которые обычно трещиноваты, раздроблены, имеют оплавленные, корродированные очертания с заливообразными внедрениями основной массы, что является признаком неравновесности их с вмещающим расплавом. Корродированные вкрапленники составляют 5–10 процентов от объема породы. Ко второй группе относятся мелкие округлые зерна, практически не содержащие включений.

*Игнимбриты ручья Начикинский.* Вкрапленники кварца первого типа содержат двухфазные (бесцветное стекло + газ), комбинированные и преобразованные расплавные включения (РВ) [Ермаков, Долгов, 1979]. Стекловатые РВ размером 10–100 мкм встречаются в виде азональных групп по 2–4 шт. Форма вакуолей изометричная, овальная, иногда просматривается бипирамидальная негативная огранка высокотемпературного кварца (рис. 2а, 2б). Объем газового пузырька занимает 10–15% от объема включения. Иногда встречаются разгерметизированные РВ с пемзовидным стеклом в области расположения газового пузырька. Обычно такие включения окружены трещинками во вмещающем кварце, что свидетель-

ствует о высоком флюидном давлении во включении (при кристаллизации кварца). Стекло во включениях имеет трахириодацитовый состав с повышенной калиевой щелочностью и глиноземистостью (70.23–72.83 мас. % SiO<sub>2</sub>, 5.72–6.06 мас. % K<sub>2</sub>O, 4.27–5.01 мас. % Na<sub>2</sub>O, 14.47–14.94 мас. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (табл. 3), отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0.72–0.83, Cl = 0.11–0.14 мас. %. Дефицит суммы компонентов в стекле РВ (97.3–98.6 мас. %) позволяет оценить максимальное содержание растворенной воды в пределах 1.4–2.6 мас. %. Частично раскристаллизованные РВ имеют обычно округлую форму и размер 80–130 мкм (см. рис. 2в). Стекло инкрустировано тонкими выделениями титаномагнетита и ильменита. Внутренняя часть включений часто имеет друзовое строение с тонкокристаллическими фазами состава санидин-криптопертита (Ab<sub>35</sub>Or<sub>65</sub>) и анортоклаз-криптопертита (Ab<sub>80</sub>An<sub>11</sub>Or<sub>9</sub>) (табл. 4). Кристаллическое наполнение раздроблено, возможно, при разгерметизации включения. К комбинированным относится РВ овальной формы размером 50–80 мкм с неровными границами (см. рис. 2г). Фазы представлены адуляром (санидином?) (Ab<sub>10–13</sub>Or<sub>87–90</sub>) и вспененным стеклом альбитового состава (Ab<sub>95–99</sub>Or<sub>1–5</sub>). Калиевый полевой шпат, в свою очередь, содержит твердофазное включение



**Рис. 2.** Расплавные включения в кварце игнимбритов плиоценового возраста (ручей Начикинский).

а–в – образец 77-06Л: а – преобразованное (измененные вторичными процессами) расплавное включение, связанное с коррозией кристаллов кварца, в верхнем углу мелкое стекловатое РВ (указано стрелкой); б – это же стекловатое РВ при большем увеличении; в – частично раскристаллизованное РВ, по периферии кайма высококремнистого высококалийного стекла с тонкими прожилками кварцевого. Стекло инкрустировано тонкими выделениями титаномагнетита (1) и ильменита. В центральной части тонкокристаллические фазы санидин-криптопертита (2) и анортоклаз-криптопертита (3). Включение разгерметизировано; г – комбинированное РВ с тонкокристаллической фазой адуляра (1) (санидин?) и вспененным стеклом альбитового состава; адуляр (санидин?) содержит твердофазное включение марганцевистого клинопироксена (геденбергита) (2), образец 81-06Л.

марганцевистого клинопироксена размером 5 мкм (состав промежуточный между ферросаллитом и геденбергитом [Дир и др., 1965]). Содержание MnO в последнем варьирует от 4 до 10,8 мас. %. Во вкрапленниках кварца в игнимбритах по ручью Начикинский наиболее распространены преобразованные РВ. Размеры их варьируют в пределах 100–300 мкм. Они связаны с коррозией вкрапленников кварца первого типа основной массой и проникновением ее вглубь кристаллов (см. рис. 2а). Форма включений каплевидная, амёбовидная,

червеобразная. Они сложены калиево-натриевым цеолитом (клиноптилолит), образующим сноповидные и лучистые агрегаты, и хлоритом (пенином). Иногда преобразованные включения встречаются рядом со стекловатыми РВ (см. рис. 2а).

Среди твердофазных включений в кварце отмечены биотит, расположенный во внешней зоне вкрапленников, и хлор-фтористый апатит. Кварц рядом с биотитом обогащен Sn, Yb, Hg, Tl и Np. В основной массе игнимбритов, окружающей кристаллы кварца, определены микровкрапленники саниди-



**Таблица 4.** Состав твердофазных включений в РВ из кислых пород Банно- Карымшинского района

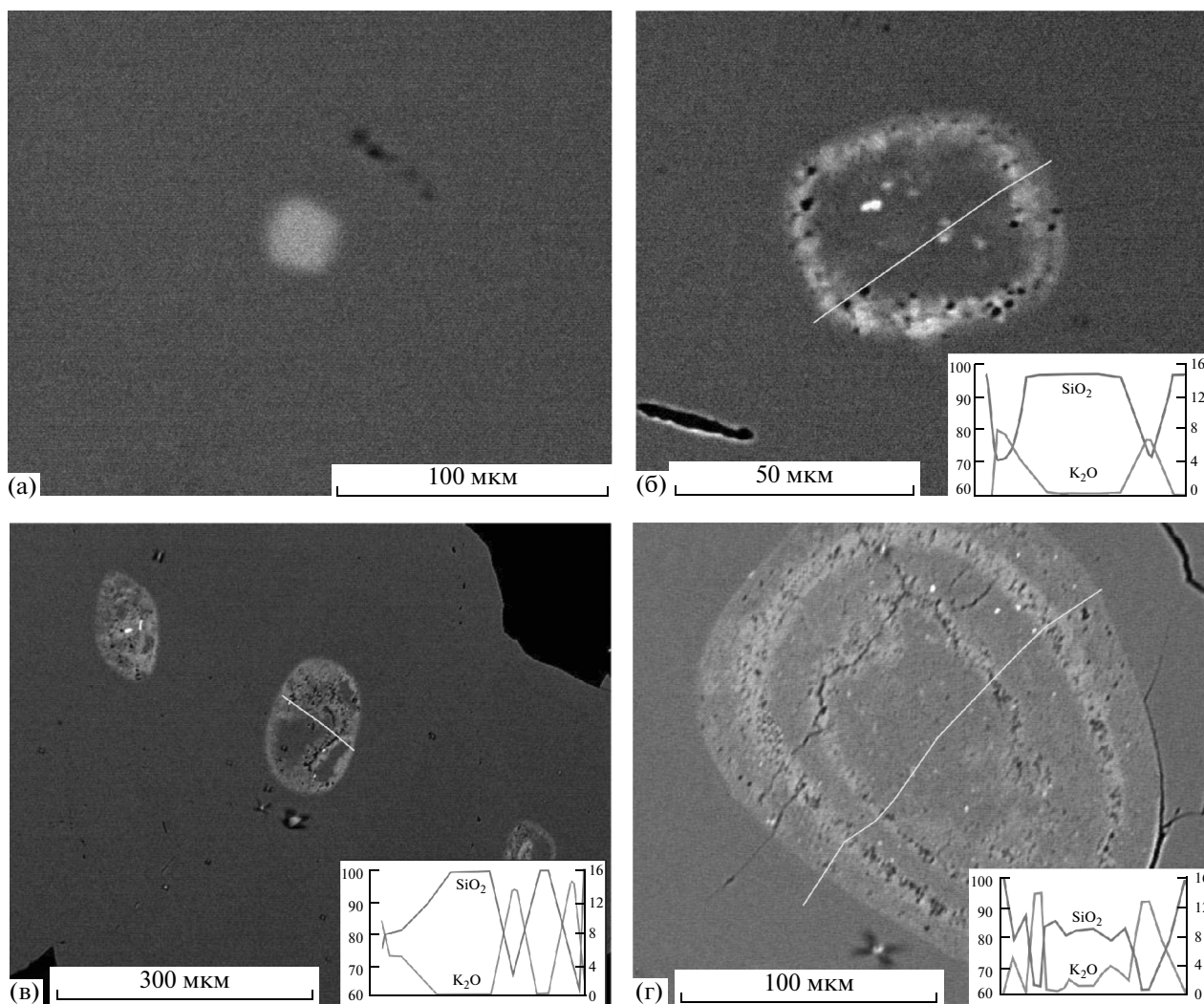
№	Фаза	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
Игнимбриты среднеплиоценового возраста											
1	Pl	65.34	0.0	21.20	0.43	0.0	0.0	2.36	9.84	1.58	100.76
2	San1	65.40	0.0	18.05	0.40	0.0	0.0	0.0	3.81	10.99	99.78
3	TiMt	0.0	2.53	2.37	81.63	0.0	0.59	0.0	0.0	0.0	93.69
4	San2	64.99	0.0	18.35	0.0	0.0	0.0	0.0	1.29	16.07	99.93
5	CPx	49.39	1.40	4.52	9.60	3.93	10.81	18.50	0.90	0.53	99.56
6	G1-Pl	67.99	0.0	18.91	.0	0.0	0.0	0.40	10.85	0.0	98.16
Игнимбриты эоплиоценового возраста											
7	San	66.29	0.0	17.29	0.76	0.0	0.0	0.0	1.00	14.40	100.19
8	Ilm	0.18	52.89	2.30	35.84	0.0	0.34	0.32	0.52	0.55	93.33
9	TiMt	0.0	3.92	2.60	84.92	0.0	1.50	0.20	0.0	0.0	93.13
Экструзии плейстоценового возраста											
10	Pl	66.77	0.0	19.15	0.65	0.0	0.0	0.92	9.12	3.55	100.17
11	San	65.75	0.0	17.59	0.30	0.0	0.0	0.0	3.45	11.29	98.38
12	CPx	48.52	0.92	4.98	8.15	7.21	5.60	19.69	2.12	0.16	97.86
13	San	64.44	0.0	18.61	0.0	0.0	0.0	0.0	0.92	15.92	99.89

Примечание. 1–6 – твердофазные включения в РВ в кварце среднеплиоценовых игнимбритов: 1–3 (рис. 2в): 1 – анортоклаз-криптопертит, 2 – санидин-криптопертит, 3 – титаномагнетит; 4–6 (рис. 2г): 4 – адуляр, 5 – марганцевистый клинопироксен, 6 – стекло альбитового состава; 7–9 – твердофазные включения в РВ в кварце в игнимбритах эоплиоценового возраста: 7 – санидин из полевошпатовых кластеров в частично раскристаллизованных расслоенных РВ, 8–9 – тонкие выделения титаномагнетита и ильменита в этих РВ; 10–13 – твердофазные включения в РВ в кварце из экструзий: 10–11 (рис. 4г) – анортоклаз (10) и санидин (11); 12, 13 (рис. 4д) – клинопироксен (12), адуляр (13).

на ( $Ab_{27-31}Or_{69-77}$ ,  $VaO = 1.33-1.43\%$ ), олигоклаза ( $Ab_{71-72}An_{21-23}Or_{5-6}$ ), реже андезина ( $Ab_{53}An_{40}Or_3$ ).

*Внутрикальдерные игнимбриты кальдеры Карымшина.* Валовый состав игнимбритов отвечает риодациту нормальной щелочности. Во вкрапленниках кварца этих игнимбритов нами было встречено только два стекловатых РВ размером в пределах 20–30 мкм (рис. 3а). Однородное бесцветное стекло имеет трахириолитовый состав с высоким содержанием калия и глинозема (72.66–73.00% SiO<sub>2</sub>, 5.62–5.68% K<sub>2</sub>O, 4.21–4.38% Na<sub>2</sub>O, 15.55–15.83% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0.75–0.78, Cl = 0.13–0.14 мас. %. Состав этих включений близок составу наиболее кремнистых РВ из более древних игнимбритов. Во вкрапленниках кварца из внутрикальдерных игнимбритов преобладают частично раскристаллизованные РВ, отличающиеся расслоенностью расплава, проявленной в различной степени (см. рис. 3б–3г). Размеры включений изменяются от 50 до 400 мкм, форма мелких вакуолей (50–100 мкм) овальная, крупных – амебовидная. Наиболее крупные включения имеют связь с основной массой, что видно в шлифах. Мелкие включения встречаются азональными группами и имеют, очевидно, первичную природу. Заполнение вакуоли отличается буровато-желтой окраской. Расслоенность выражается в чередовании кварцевых и полевошпатовых кластеров. Наиболее простое проявление расслоенности отмечается в мелких включениях (см. рис. 3б). На

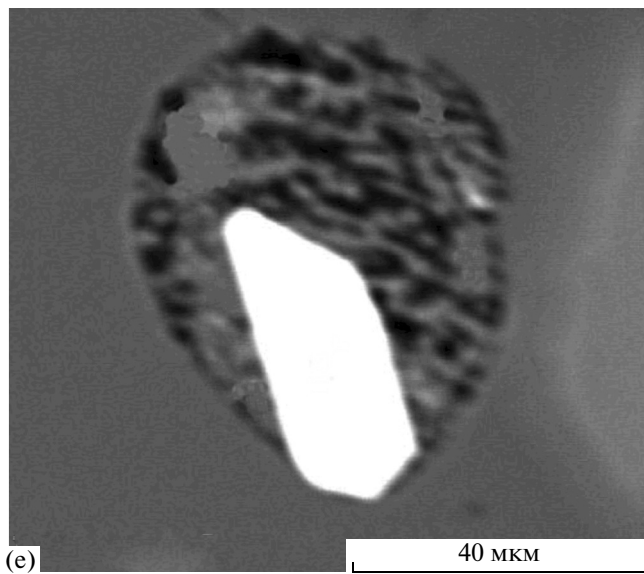
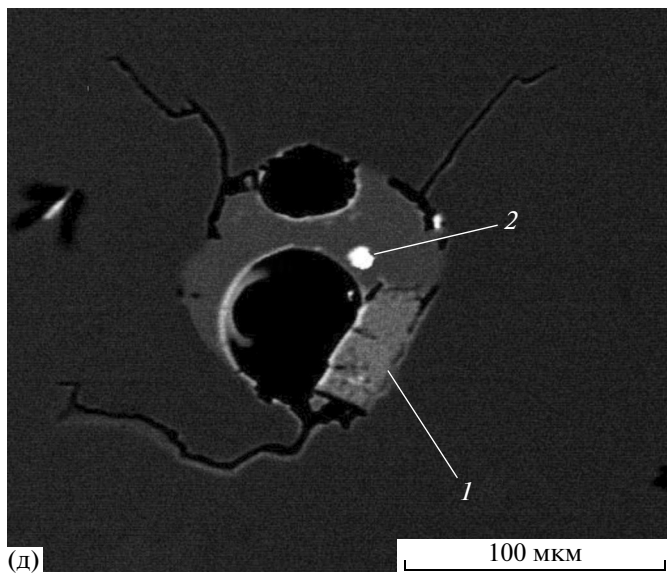
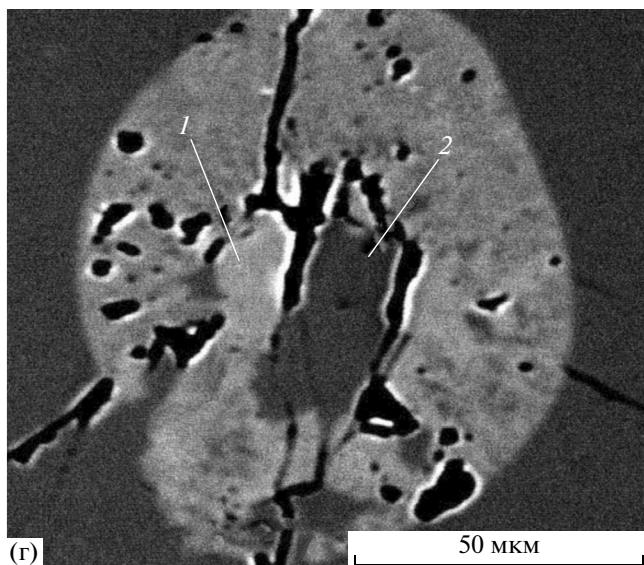
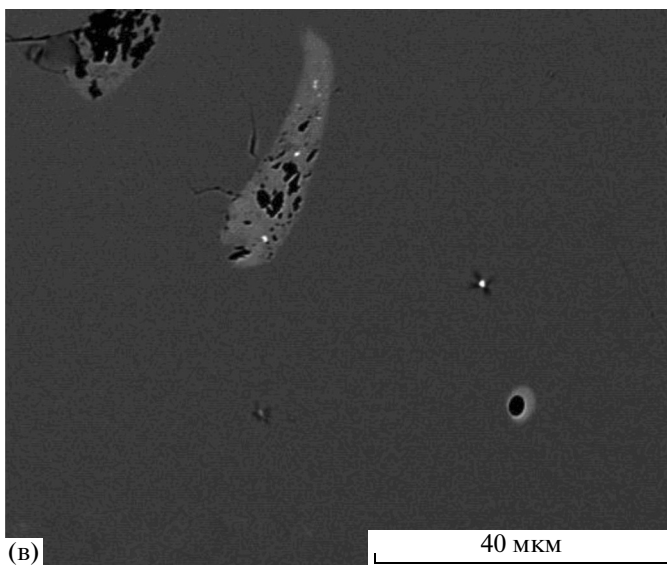
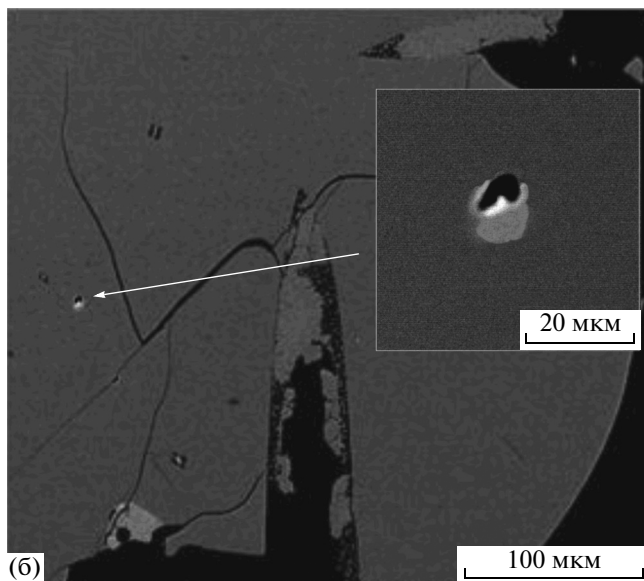
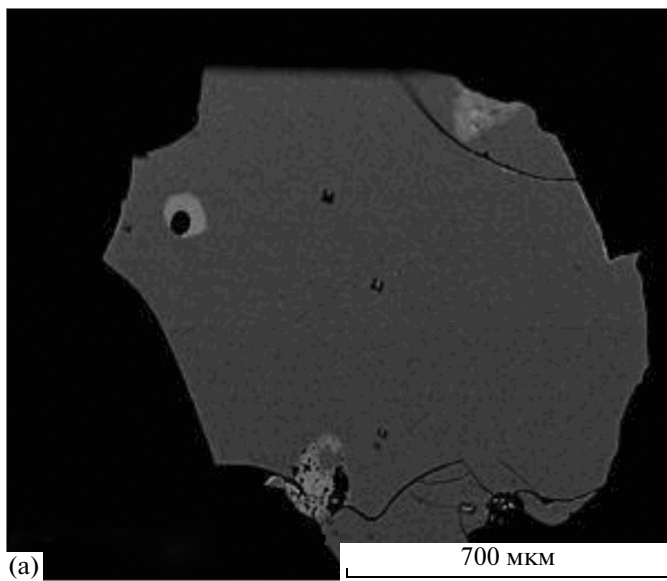
границе с вмещающим кварцем наблюдается тонкий (около 3 мкм) слой стекла ультракислого состава с натриевой специализацией и низкой глиноземистостью (86.1–90.18% SiO<sub>2</sub>, 0.79–1.59% K<sub>2</sub>O, 1.49–2.82% Na<sub>2</sub>O, 5.79–8.13% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 1.35–3.5). Это так называемые эвтакситовые расплавы, близкие по составу кристаллу-хозяину. За ним следует слой высококальевого высокоглиноземистого стекла трахириолитового состава мощностью 4–5 мкм (77.5–78.79% SiO<sub>2</sub>, 4.63–5.52% K<sub>2</sub>O, 2.91–4.63% Na<sub>2</sub>O, 16.87–18.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0.48–0.63. Центральная часть включения сложена кварцем и кварцевым стеклом с тонкой рудной пылью. О первичной природе этого включения могут свидетельствовать мелкие газовые полости по периферии вакуоли. В некоторых РВ расслоенность выражается в чередовании стекол различной кремнекислотности и щелочности (74.4–88.93% SiO<sub>2</sub>, 0.74–9.18% K<sub>2</sub>O, 1.22–3.44% Na<sub>2</sub>O, 5.53–12.48% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (см. рис. 3в, 3г). В наиболее крупных РВ содержание K<sub>2</sub>O в полевошпатовых кластерах возрастает к центру включения вплоть до появления крипторксталлических агрегатов санидина. Полевошпатовые прослои более тонкие. Мелкие газовые полости распределены по всему объему РВ, иногда содержащее вакуоли разбито усадочными трещинками. Встречаются РВ с менее выраженной расслоенностью, но в них всегда присутствуют кварц-полевошпатовые компоненты.



**Рис. 3.** Расплавные включения во вкрапленниках кварца из внутрикальдерных игнимбритов эполейстоценового возраста с частичной раскристаллизацией и расслоенностью стекла.  
 а – РВ с незначительной степенью расслоенности; б – крупное РВ с ритмичной расслоенностью; в – группа расслоенных РВ. Твердая фаза представлена сфеном и титаномagnetитом; г – РВ с деформированной расслоенностью. Графики показывают распределение  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$  во включениях по профилям, указанным на рисунке; а, б, г – образец 140-06Л, в – 48-06Л, б – стрелка указывает на мелкое стекловатое включение.

*Экструзивные образования.* Лавы экструзий имеют в основном риолитовый состав и отличаются нормальной щелочностью. Вкрапленники кварца по размерам варьируют в пределах 0.3–0.6 мм, реже достигают 1 мм. Расплавные включения в них представлены в виде стекловатых, частично раскристаллизованных и комбинированных типов. К первому типу относятся РВ, состоящие из чистого стекла и газового пузырька, реже – двух (рис. 4а, 4б). Газовый пузырек занимает 10–20% от объема РВ. Размеры РВ варьируют от 40 до 100 мкм. Форма включений часто отражает негативную бипирамидальную огранку высокотемпературного кварца. Состав силикатной фазы РВ варьирует в широком диапазоне (69.42–76.61%  $\text{SiO}_2$ , 5.23–6.22%  $\text{K}_2\text{O}$ , 3.66–4.71%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 15.65–16.36%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Иногда в РВ на границе с кварцем отмечается узкая (2–5 мкм) кайма высококремнистого стекла с низким содержанием калия (77.37–84.9%  $\text{SiO}_2$ , 0.32–1.47%  $\text{K}_2\text{O}$ ). При редком совместном нахождении в пределах одного зерна нескольких стекловатых включений, отличающихся по составу, видно, что низкокремнистые, но более щелочные и высокоглиноземистые РВ приурочены к внутренним участкам вкрапленника (см. рис. 4б). К необычным относятся стекловатые РВ с натриевой специализацией. На рис. 4б видно, что высоконатриевое стекло заполняет клиновидные трещины, направленные во внутреннюю часть вмещающего кварца и тонко вспенено на границе с ним (76.55–79.06%  $\text{SiO}_2$ , 0.22–0.32%  $\text{K}_2\text{O}$ , 6.72–7.17%  $\text{Na}_2\text{O}$ ,



11.99–12.72%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отношение  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 14\text{--}21$ ,  $\text{Cl} = 0.22\text{--}0.32$  мас. %). В поперечном разрезе форма таких включений овальная, без газового пузырька. Они имеют явно вторичную природу и образовались, вероятно, при проникновении стекла основной массы породы в кристалл по трещинкам уже после становления тела. Стекло основной массы вмещающих риолитов после остывания перлитизируется, подвергается девитрификации и в них также встречаются тонкие прослойки стекол с преобладанием натрия над калием. Комбинированные РВ (см. рис. 4д, 4е) характеризуются захватом вместе с каплей расплава кристалликов (спутников), которые выделились из материнского расплава до формирования РВ [Бакуменко и др., 1978; Ермаков, Долгов, 1979]. Подобные твердофазные включения представлены санидином ( $\text{Ab}_{30\text{--}31}\text{Or}_{69\text{--}70}$ ), апатитом, цирконом (74.3 мас. % Zr), монацитом (13.8 мас. % P, 8.55 мас. % La, 20.02 мас. % Ce и 6.55 мас. % Nd), марганцевистым клинопироксеном (4–10 мас. % MnO). В лавах экструзии Ящик (образец 45-04Л), не содержащих санидин среди вкрапленников, калиевый полевой шпат определен в РВ как кристалл-спутник и имеет состав адуляра ( $\text{Ab}_8\text{Or}_{92}$ ) (см. рис. 4д). Так как адуляр не является магматическим минералом, а РВ разгерметизировано трещиной, можно предположить, что калиевый полевой шпат, возможно, санидин, под действием проникающих гидротермальных растворов преобразуется в адуляр. Частично раскристаллизованные РВ распределены во вкрапленниках кварца неравномерно; иногда они встречаются в ассоциации со стекловатыми включениями первого типа (см. рис. 4в, 4г). Размер их варьирует в пределах 50–150 мкм. Форма овальная, удлинено овальная, неправильная. Наполнение РВ представлено неоднородным высококремнистым стеклом калиевой специализации (74.05–77.32%  $\text{SiO}_2$ , 4.33–6.87%  $\text{K}_2\text{O}$ , 3.80–5.84%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 11.35–14.73  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отношение  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.57\text{--}0.87$ ,  $\text{Cl} = 0.14\text{--}0.20$  мас. %). В центре наиболее крупных из них отмечаются тонкие выделения санидин-криптопертита ( $\text{Ab}_{31\text{--}45}\text{Or}_{58\text{--}63}$ ) или анортотлаз-криптопертита ( $\text{Ab}_{42\text{--}51}\text{Or}_{47\text{--}58}$ ) и кварца. Практически все частично раскристаллизованные включения разгерметизированы и сопровождаются “усиками” трещин, отходящих от включений.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Информативность расплавных включений.* Во вкрапленниках кварца в кислых вулканитах Банно-Карымшинского района были отмечены разнообразные типы РВ: стекловатые, в различной степени раскристаллизованные, преобразованные, расслоенные. Все они несут определенную информацию о процессах, происходящих на разных этапах эволюции расплавов и пород. Так преобразованные расплавные включения в кварце игнимбритов среднеплиоценового возраста отражают степень неравновесности (коррозию) отдельных вкрапленников кварца во вмещающем расплаве. Они представляют собой результат взаимодействия стекла с гидротермальными растворами, проникающими во включения на постэруптивном этапе по трещинам, или имеют непосредственную связь с основной массой. Местами в них сохраняются криптокристаллические фазы санидина и кварцевого стекла. Включения расслоенного типа, преобладающие во вкрапленниках кварца внутрикальдерных игнимбритов, довольно необычны для РВ в минералах эффузивных и пирокластических пород кислого состава. Их можно сравнить с “расслоенностью течения”, возникающей в мелких магматических телах, внедряющихся в разогретую среду [Шарков, 2006]. В этом случае расплав не подвергается резкому переохлаждению. При дальнейшем охлаждении расплав достигает предкристаллизационного состояния и приобретает свойства неньютоновской жидкости с вязко-пластичным типом течения. Расслоенность в таких телах отличается: 1) двучленным характером ритмичности; 2) всегда ориентирована параллельно контактам, повторяя их конфигурацию; 3) контакты между слоями постепенные; 4) в центральных частях слои могут сминаться в складки, разрываться и обособляться. Перечисленные особенности расслоенности мелких магматических тел наблюдаются в крупных расслоенных РВ в кварце из игнимбритов кальдеры Карымшина. Судя по сохранению структур расслоенности, процесс затвердевания заканчивался мгновенно. Согласно [Шарков, 2006], подобный тип расслоенности возникает не только в основных, но и в кислых расплавах. Для последних характерны кварц-полевошпатовые кластеры, играющие структурообразующую роль. В нашем случае, при обрушении опустошенной апикальной части магматического очага, масса пирокластического материала опускалась вместе с дном кальдеры и находилась не-

← **Рис. 4.** Расплавные включения во вкрапленниках кварца из экструзивных образований раннего плейстоцена.

а–в — РВ различных типов (стекловатые и в незначительной степени раскристаллизованные); г — частично раскристаллизованное включение: по периферии кайма неоднородного высококалийного стекла; в центре — твердофазные включения санидина (1) и кварца (2); д — комбинированное РВ: в высококремнистом высококалийном стекле микрокристаллы-спутники анальцима (санидин?) (1) и марганцевого клинопироксена (геденбергита) (2); е — комбинированное включение, состоящее из кристалла-спутника циркона с захваченной каплей расплава; а — образец 112-06Д, б, д, е — образец 45-04, в — образец 105Л, г — образец 114-06Л. На “б” — вставка, стрелка указывает на мелкое стекловатое РВ.

которое время в разогретом состоянии. Пластичное течение расплава в РВ представить сложно, но наверняка в общей массе тела происходили какие-то подвижки до его полного становления. В основной массе внутрикальдерных игнимбригов также наблюдается расслоенность, выраженная в чередовании слоев, отличающихся содержанием калия, которая характерна для крупных РВ.

Наиболее информативными являются гомогенные двухфазные включения, состоящие из стекла и газового пузырька. Эти первичные РВ во вкрапленниках кварца отражают состав и физико-химические условия существования расплава на глубине до поступления его на поверхность Земли. Для получения сведений о составе исходных расплавов в настоящей статье мы анализировали только такие включения. Включения не подвергались гомогенизации, так как стекла индивидуальных РВ отличались гомогенностью состава. Лишь иногда на границе с вмещающим кварцем отмечалась тонкая (первые мкм) каемка высококремнистого низкокальевого расплава.

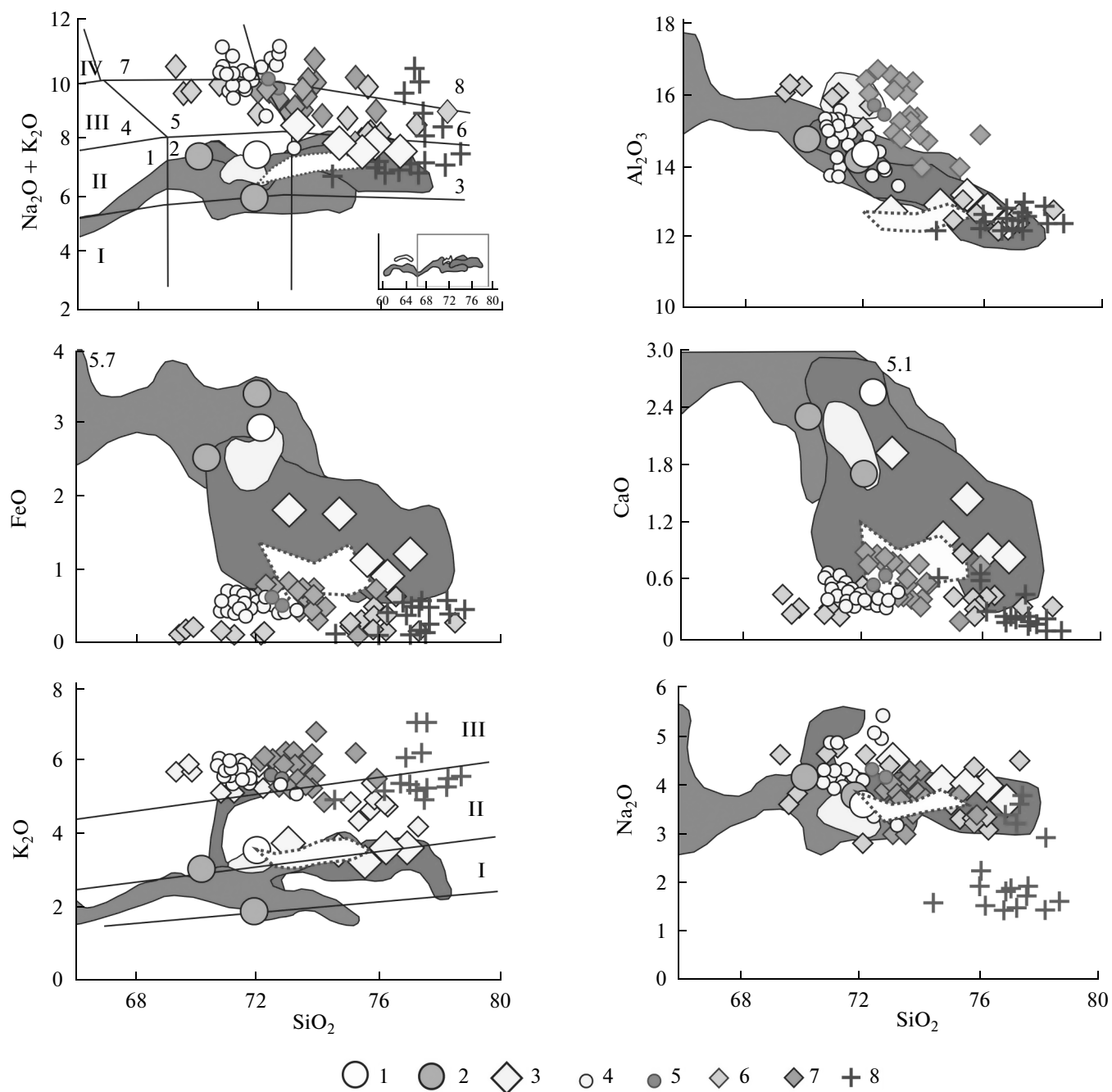
*Состав расплавных включений и физико-химические условия кристаллизации кислых расплавов.* Разновозрастные кислые вулканы Больше-Банного района относятся к породам с нормальной общей щелочностью, а по содержанию  $K_2O$  располагаются на границе умеренно- и высококальевого пород известково-щелочной серии (рис. 5). В то же время практически все проанализированные стекловатые РВ во вкрапленниках кварца, за редким исключением, отличаются повышенной содержанием калия и относятся к субщелочному типу.

Состав стекол гомогенных РВ во вкрапленниках кварца из игнимбригов, как более древних, по ручью Начикинский, так и из игнимбригов кальдеры Карымшина, варьирует в интервале от 70.86 до 74.34 мас. %  $SiO_2$  (см. табл. 3). По отношению к валовому составу игнимбригов они отличаются большей общей щелочностью (8.7–11.17 мас. %) и по этому показателю отвечают трахириодацитам, в меньшей степени, щелочным риодацитам и даже комендитам. По содержанию  $K_2O$  они относятся к субщелочной серии. Для них характерна умеренная концентрация  $FeO$  (0.22–0.66 мас. %) и  $CaO$  (0.35–0.68 мас. %). Содержание  $TiO_2$  в силикатной фазе РВ не превышает 0.22–0.27 мас. % и близко к содержанию его в породах, но определяется не во всех включениях.  $MgO$  в стеклах не определяется. По содержанию  $Al_2O_3$  (13.7–15.5 мас. %) стекла РВ близки валовому составу игнимбригов и отличаются повышенной глиноземистостью, характерной для субщелочных пород. Коэффициент апаитности ( $Al_2O_3/CaO + Na_2O + K_2O$ ) составляет 1.24–1.56 [Петрографический кодекс..., 2009]. Необходимо отметить, что составы стекол единичных стекловатых РВ, обнаруженных в кварцах внутрикальдерных игнимбригов, отличаются большей крем-

некислотностью и близки составам РВ во вкрапленниках посткальдерных экстрезий.

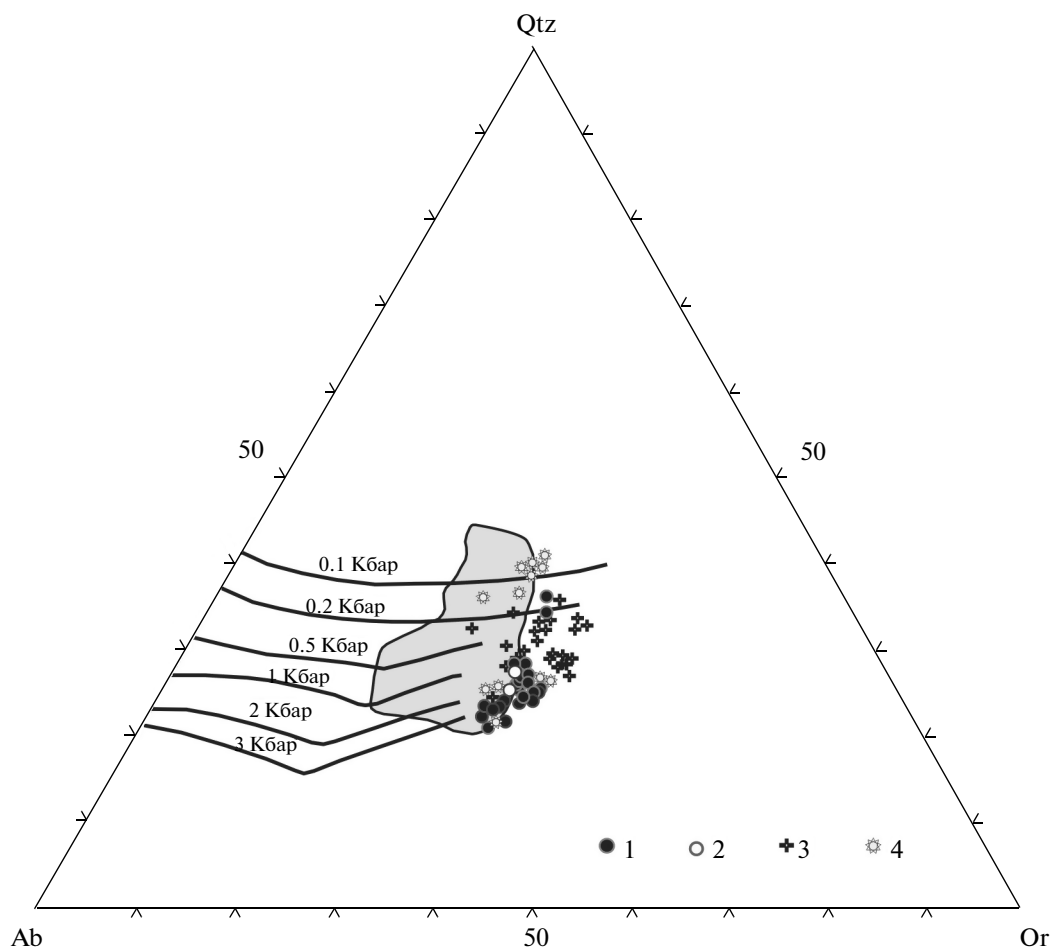
Силикатная фаза РВ во вкрапленниках кварца из риолитов посткальдерных экстрезий по содержанию  $SiO_2$  образует широкий ряд составов от 69.4 до 78.4 мас. % (см. рис. 5, табл. 3). По этому показателю их можно разделить на три группы: низкокремнистые (69.4–71.0 мас. %), умереннокремнистые (72.5–74.1 мас. %) и высококремнистые (75–78.4 мас. %). Преобладают РВ второй группы. Сюда попадают преимущественно РВ в экстрезиях, где среди вкрапленников встречается санидин. Они имеют промежуточные между трахириодацитами и трахириолитами составы, отличаются повышенной глиноземистостью (13.97–16.7 мас. %  $Al_2O_3$ ), повышенными концентрациями  $FeO$  (0.26–0.79 мас. %) и  $CaO$  (0.36–0.89 мас. %). По общей щелочности они располагаются на границе пород умеренно-щелочной и щелочной серий, а по содержанию  $K_2O$  (5.98–6.87 мас. %) относятся к высококальевой известково-щелочной и субщелочной сериям. Коэффициент апаитности составляет 1.38–1.65. По этим показателям они близки стеклам РВ в кварцах игнимбригов, но более обогащены  $SiO_2$ . Первая группа включений трахириодацитового состава встречается только в риодацитах экстрезии Ящик, в которых калиевый полевой шпат среди вкрапленников не был обнаружен (но встречается в некоторых РВ в виде кристаллов-спутников). По содержанию калия и глиноземистости они мало отличаются от РВ второй группы, но имеют более низкие концентрации железа (0.1–0.21 мас. %) и кальция (0.27–0.48 мас. %). Наконец РВ третьей группы имеют состав высококремнистых трахириолитов, отличаются пониженной глиноземистостью (12.24–13.02 мас. %) и калиевостью (4.15–5.1 мас. %), варьирующими содержаниями  $FeO$  (0.1–0.62 мас. %) и  $CaO$  (0.2–0.78 мас. %). По содержанию калия они относятся к высококальевой известково-щелочной серии. РВ третьей группы встречаются как в лавах с вкрапленниками санидина, так и в лавах, не содержащих их. По концентрации главных компонентов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ) они наиболее близки стеклу основной массы риолитов экстрезий (см. рис. 5). Основные различия (разброс значений) отмечаются по щелочности и, возможно, это связано с процессами девитрификации стекла основной массы. Стекла РВ в изученных образцах содержат незначительные (0.1–0.22 мас. %) концентрации хлора, что характерно для кислых расплавов. Наиболее высокие его содержания (0.18–0.22 мас. %) отмечены в стеклах РВ в кварцах экстрезии Ящик.

На диаграмму  $SiO_2$ –окисел (см. рис. 5) были нанесены составы расплавных включений во вкрапленниках кварца из пемзовых туфов кальдеры Половинка (Карымский вулканический центр) [Наумов и др., 2008]. Они имеют состав высококремнистых ри-



**Рис. 5.** Состав РВ в кислых породах Банно-Карымшинского района в координатах SiO<sub>2</sub>–окислы, мас. %.

Валовые составы пород: 1 – плиоценовые игнимбриты, ручей Начикинский, 2 – внутрикальдерные игнимбриты, 3 – посткальдерные экструзии; 4–7 – составы расплавных включений в кварце: 4 – в игнимбритах плиоценового возраста, 5 – во внутрикальдерных игнимбритах, 6 – посткальдерных экструзий, содержащих во вкрапленниках санидин, 7 – в кварце посткальдерной экструзии Ящик, образец 45-04, не содержащей санидин во вкрапленниках, 8 – составы стекол основной массы; поля составов кварцсодержащих кислых пород: белое (граница точечный–пунктир) – составы расплавных включений во вкрапленниках кварца из пемзовых туфов кальдеры Половинка, Карымский вулканический центр, светло-серое – игнимбриты плиоценового возраста, серое – внутрикальдерные игнимбриты, темно-серое – посткальдерные экструзии. На классификационных диаграммах римскими цифрами обозначены поля серий пород: Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O – низко-щелочной (I), нормально-щелочной (II), умеренно-щелочной (III), щелочной (IV); K<sub>2</sub>O – умеренно-калиевой известково-щелочной (I), высоко-калиевой известково-щелочной (II) и субщелочной (III) [Rasseriolo, Taylor, 1976]. На Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O цифрами указаны поля различных типов пород согласно [Петрографический кодекс..., 2009]: 1 – дациты, 2 – риодациты, 3 – риолиты, 4 – трахидациты, 5 – трахириодациты, 6 – трахириолиты, 7 – щелочные риодациты, 8 – комендиты. На графиках FeO и CaO цифрами указаны предельные содержания в докальдерных и внутрикальдерных игнимбритах. Содержания окислов приведены в мас. %. Поля составов пород построены с использованием данных по [Леонов, Рогозин, 2007], а также по новым неопубликованным анализам авторов. На вставке (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) указаны границы диаграммы по отношению ко всему спектру составов.



**Рис. 6.** Нормативные составы стекол расплавных включений и пород Банно-Карымшинского района.

1 — расплавные включения (РВ) в кварце докальдерных игнимбритов, 2 — РВ в кварце посткальдерных игнимбритов, 3 — РВ в кварце экструзий, содержащих во вкрапленниках санидин, 4 — РВ в кварце экструзии Ящик, в которой санидин отсутствует среди вкрапленников. Контур — состав кислых пород района. Линии — котектические кривые при различном содержании воды [Winter, 2001].

одацитов и низкокремнистых риолитов и по этому показателю наиболее близки РВ второй группы в кварце экструзивных образований. По содержанию главных породообразующих компонентов они отличаются от расплавных включений Банно-Карымшинского района пониженной общей щелочностью и глиноземистостью, что характерно для вулканитов Восточного вулканического пояса, и относительно повышенным содержанием FeO и CaO. Содержание хлора в стекле РВ в кварце из пемзовых туфов кальдеры Половинка близко (0.1–0.15 мас. %) его концентрации в РВ риолитах рассматриваемого района.

Судя по недостатку аналитических сумм стекол, проанализированных РВ, содержание воды в расплаве составляло 1.4–5.0 мас. %. На треугольной диаграмме Ab–Qtz–Og гранитной системы (рис. 6) с экспериментальными котектическими кривыми, соответствующим разным давлениям при повышенном содержании воды в расплаве

[Шинкарев, 1970; Элс, 1975; Winter, 2001], точки нормативных составов РВ имеют большой разброс в направлении кварцевой вершины и обнаруживают некоторое обогащение Og-компонентой относительно нормированного валового состава пород. Последние располагаются вблизи точек температурного минимума котектических кривых и также обнаруживают эволюцию в сторону кварцевой вершины. Исходя из расположения точек анализов стекол РВ по отношению к экспериментальным котектическим кривым, давление в магматическом очаге на момент кристаллизации кварца менялось от 1.5–3.5 кбар (соответствует глубине 5–9 км) для РВ в кварце пирокластических отложений до 0.1–2 кбар (соответствует глубине 0.3–6 км) для РВ во вкрапленниках экструзивных образований. Большой разброс значений, иногда в пределах одного зерна, свидетельствует о кристаллизации (или докристаллизации) фенокристаллов кварца на разных глубинах в магматическом очаге (очагах)

или в подводящих каналах. Максимальная глубина кристаллизации кварца (8–9 км, 2–3.5 кбар) характерна для ранних игнимбритов по ручью Начикинский. Состав РВ из кварца этих игнимбритов наиболее близок валовому составу пород. Внутрикальдерные игнимбриды располагаются на диаграмме в пределах котектических кривых, отвечающих давлению 1.5–2 кбар.

Формирование вкрапленников кварца в экструзивных образованиях происходило в более широком диапазоне давления. Подавляющая часть РВ во вкрапленниках кварца из санидинсодержащих риолитовых экструзий группируются компактной группой в пределах котектических кривых, соответствующих давлению 0.5–2.2 кбар (1.5–6 км) и наиболее удалены от нормативных валовых составов. Наиболее широкий диапазон по давлению (0.1–3.5 кбар) характерен для стекол РВ экструзии Ящик, где среди вкрапленников санидин отсутствует. Ранние, наименее эволюционированные, РВ связаны с реликтовыми вкрапленниками кварца, кристаллизовавшимися из первичных игнимбритообразующих расплавов, попавших в близповерхностный магматический очаг при подъеме расплава из более глубоких зон магматической системы. РВ, расположенные на диаграмме в области низких давлений (0.1–0.2 кбар), были захвачены, вероятно, в приповерхностных условиях на глубинах порядка 1 км. Об этом свидетельствует сходство состава силикатной фазы РВ и стекла основной массы. Составы стекол РВ в кварце лав экструзий отличаются более высоким содержанием  $K_2O$ , чем валовый состав пород (см. рис. 5).

Для высококремнистых крупнообъемных риолитовых игнимбритов США (например, туфы Бишоп, Калифорния), состав которых близок составу игнимбритов Банно-Карымчинского района, были проведены термодинамические расчеты, свидетельствующие о существовании строгой заведомости порядка кристаллизации минералов-вкрапленников в породах подобного типа от давления, в условиях флюидного (водного) насыщения [Gualda et al., 2012]. Так, при 250–350 МПа (2.5–3.5 кбар) санидин являлся первой кристаллической фазой, после которой кристаллизовался кварц и затем плагиоклаз. При 175 МПа первой фазой является кварц, затем санидин и за ним плагиоклаз. При низких (100 МПа) давлениях плагиоклаз является первой кристаллической фазой, за ним следует санидин и кварц. При снижении концентрации воды в расплаве температура отделения санидина возрастает от 754°C при 7 мас. %  $H_2O$  до 892°C при 2 мас. %  $H_2O$ . При низком давлении санидин содержит меньшее количество  $Or$ -минерала (58%), чем при высоком давлении (79%). Это находит подтверждение и в наших данных. Состав санидина среднеплиоценовых игнимбридов, формирующихся при больших давлениях,

более обогащен калиевой составляющей ( $Or_{71-77}$ ), чем в экструзиях ( $Or_{55-68}$ ) (см. табл. 2). Близодновременная кристаллизация санидина и плагиоклаза в виде твердофазных включений была отмечена только в отдельных экструзиях. Анализ диаграммы  $Ab-Qtz-Or$  показывает, что составы РВ не всегда соответствуют валовому составу пород и отличаются обогащением  $Or$  компонентом.

Результаты изучения РВ в кварце позволяют сделать предположение о существовании в недрах Банно-Карымшинского района верхнекорового магматического очага (или очагов) субщелочных кислых расплавов на протяжении 4 млн лет [Леонов и др., 2013] и, как минимум, о трехэтапной кристаллизации (или докристаллизации) фенокристаллов кварца. Выделение трех групп первичных стекловатых РВ, законсервированных во вкрапленниках кварца в экструзиях и отличающихся по составу, позволяет предположить, что исходные расплавы эволюционировали на разных этапах развития района и извергались в виде пирокластических отложений и экструзивных куполов. Стекла РВ трахириодацитового и трахириолитового состава (вторая группа), которые обнаружены в корродированных вкрапленниках кварца во всех исследуемых разновозрастных породах (образцах) характеризуют, очевидно, расплавы относительно глубокого магматического очага (порядка 7–9 км). Именно с этими РВ ассоциируют “усики” трещин, указывающие на разгерметизацию включений при подъеме расплава, содержащего вкрапленники кварца, на более высокие уровни земной коры. Перемещение расплава в область относительно низких давлений приводило к тому, что ранее выделившиеся кристаллы кварца начинали растворяться, а РВ испытывали декрепитацию в условиях, когда внутреннее давление превышало внешнее на величину, превышающую прочность минерала-хозяина. Согласно расчетам [Tait, 1992], для включений размером 20–30 мкм предельное напряжение, при котором начинаются хрупкие деформации вкрапленника кварца, составляет 2.0–2.5 кбар. Для более крупных включений трещины вокруг РВ образуются при разности давления внутри и снаружи до 4 кбар. Присутствие в РВ кристаллов-спутников марганцевистого клинопироксена и сфена (см. рис. 4) может указывать на относительно слабую обводненность этого расплава. Дефицит сумм компонентов при микронзондовом анализе стекол РВ позволяет предполагать, что содержание  $H_2O$  в них варьировало в пределах 1.4–2.6 мас. %. Микроструктурные твердофазные включения клинопироксена с родонитовым миналом (4–10 мас. %  $MnO$ ), обнаруженные в расплавных включениях во вкрапленниках кварца древних игнимбридов, могут свидетельствовать о возможной ассимиляции расплавом глинисто-карбонатных пород фундамента структуры. Согласно [Дир др.,



1965], марганцевистые клинопироксены (геденбергиты или ферросаллиты) характерны для скарнов, образующихся в приконтактных зонах интрузий и карбонатсодержащих пород. Зерна, не прошедшие полного растворения, сохраняли внутри себя первично захваченные РВ и, при благоприятных условиях, восстанавливали свои формы. В процессе докристаллизации возможен захват и консервация как микропорций более эволюционированного расплава, так и микрокристаллических фаз. Появление во внешних зонах некоторых вкрапленников кварца стекловатых РВ трахириолитового состава и твердофазных включений биотита говорит как о доращении кристаллов в более эволюционированном расплаве, так и о возрастании в них роли летучих компонентов, прежде всего воды, (дефицит сумм достигает 5 мас. %).

В игнимбриках эоплейстоценового возраста (кальдера Карымшина) санидин отсутствует среди вкрапленников и это является показателем изменения физико-химических условий кристаллизации и, прежде всего, давления [Gualda et al., 2012]. Это может быть связано с перемещением расплава на более высокие уровни в земной коре, снижением его температуры, а также с влиянием процессов ассимиляции и смешивания расплавов.

При обрушении кальдеры после извержения игнимбриков остаточные кислые расплавы были выжаты в верхние горизонты земной коры по кольцевому разлому. Они образовали, вероятно, серию небольших разноглубинных магматических камер, которые эволюционировали во времени и формировали посткальдерные экструзивные тела. Расплавные включения в кварце санидинсодержащих риолитов наиболее отклонены от валового состава пород в сторону ортоклазового компонента. Принимая во внимание зональность вкрапленников санидина в экструзивных образованиях, можно предположить, что это связано с внедрением в основание магматической камеры более глубоких, обогащенных барием, расплавов, и вариациями давления водяного пара при этих инъекциях.

Все эти предположения требуют дополнительных доказательств, термодинамических расчетов, которые предполагается сделать в дальнейшем.

Работа выполнена по программе “Дальний Восток” в рамках проекта № 15-1-2-031 и проекта РФФИ № 14-05-31319.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аникин В.В., Миллер Э.Л.* Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 10. № 1. С. 249–290.

*Бакуменко И.Т., Базарова Т.Ю., Панина Л.И.* Включения силикатных и несилкатных расплавов в минералах. М.: Наука, 1978. С. 29–34.

*Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. 2. М.: Мир, 1965. 405 с.

*Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 271 с.

*Леонов В.Л., Биндеман И.Н., Rogozin A.H.* Новые данные о вулканизме, предвещающем суперизвержение и формирование кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) // Матер. конф., посвященной Дню вулканолога “Вулканизм и связанные с ним процессы”, 28–29 марта, г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 56–63.

*Леонов В.Л., Биндеман И.Н., Rogozin A.H., Аникин Л.П.* Новые датировки вулканических пород, сформировавшихся при крупнообъемных эксплозивных извержениях на Южной Камчатке // Матер. конфер., посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 33–34.

*Леонов В.Л., Rogozin A.H.* Карымшина – гигантская кальдера-супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластики // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 14–28.

*Наумов В.Б., Толстых М.Л., Гриб Е.Н. и др.* Химический состав, летучие компоненты и элементы-примеси расплавов Карымского вулканического центра (Камчатка) и вулкана Головина (о. Кунашир) по данным изучения включений в минералах // Петрология. 2008. Т. 16. № 1. С. 3–20. Петрографический кодекс. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 198 с.

*Чурикова Т.Г., Вернер Г., Миронов Н. и др.* Изменение состава флюидов вкострости простирающаяся Камчатской островной дуги // Матер. IV Межд. совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг “Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах”. 21–27 августа 2004 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 119–120.

*Шарков Е.В.* Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М.: Научный мир, 2006. 364 с.

*Шинкарев Н.Ф.* Физико-химическая петрология изверженных пород. Л.: Недра, 1970. 248 с.

*Элерс Э.* Интерпретация фазовых диаграмм в геологии. М.: Мир, 1975. 299 с.

*Gualda G.A., Chiorso M.S., Lemon S.R., Carley T.I.* Rhyolite-Melts: Modified Calibration of Melts Optimized for Silica-rich, Fluid-derrring Magmatic Systems // J. Petrology. 2012. V. 53. № 5. P. 875–890.

*Mason B.G., Pyle D.M., Oppenheimer.* The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth // Bull. Volcanology. 2004. V. 66. P. 735–748.

*Pocerillo A., Taylor S.R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rock from the Kastomonu area, Northern Tukey // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. V. 58. № 1. P. 63–81.

*Tait S.* Selective preservation of melt inclusions in igneous phenocrysts // Amer. Miner. V. 77. P. 146–154.

*Winter J.D.* An introduction to igneous and metamorphic petrology // Prentice Hall. 2001. 407 p.