

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСЧАТОСТИ КРЕМНЕКИСЛЫХ ВУЛКАНИТОВ

© 2010 г. А. М. Курчавов

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,  
Межведомственный петрографический комитет при отделении наук о Земле РАН  
119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35  
E-mail: petrocom@igem.ru*

Поступила в редакцию 09.04.2010 г.

Кремнекислые расплавы подвижны и хорошо текут. Это фиксируется прекрасно проявленной полосчатостью в кремнекислых вулканитах. Для лав характерна флюидальная полосчатость. Полосчатый облик игнимбрикам придают фьямме и базис. Составы флюидальных полосок в лавах отличаются в зависимости от режима извержения. Петрохимические параметры фьямме в игнимбриках меняются постепенно и плавно от наиболее ранних их разновидностей к поздним. Формирование полосчатости или расслоенности расплавов происходит в результате сложного взаимодействия процессов дифференциации магм в жидком состоянии, кристаллизационной дифференциации магматического расплава и его движения.

Ключевые слова: *кремнекислые вулканиты, лавы, игнимбрики, полосчатость, расслоенность, фьямме.*

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема формирования полосчатых или расслоенных магматических горных пород издавна привлекает внимание исследователей. Особенно много работ посвящено изучению этого явления в породах основного и ультраосновного состава. В меньшей мере данное явление изучено в кремнекислых вулканитах.

Распространенно мнение, что кремнекислые расплавы вязки и малоподвижны. Цель статьи – на примере кремнекислых лав и игнимбриков разных регионов и возраста показать прекрасно проявленную полосчатость этих пород, одинаково хорошо выраженную в разных по условиям залегания геологических телах (покровах, экструзивах, рвущих телах различной формы) и свидетельствующую, соответственно, о высокой подвижности и текучести кремнекислых расплавов.

### ПОЛОСЧАТОСТЬ В ЛАВАХ

Для лав характерна флюидальная полосчатость в виде чередования тонких полосок (часто весьма выдержанных по латерали) разной окраски, строения и состава (рис. 1, 2). В свою очередь, эти полоски состоят из еще более тонких полосочек. В лавовых покровах полосчатость нередко прослеживается по всему покрову. При этом, близ кровли и подошвы покрова, где происходило более быстрое остывание расплава и более быстрый выход из него летучих компонентов, текстура приобретает иногда игнимбриковидный облик за счет автодробления и растаскивания остывающих обломков или же чаще становится брекчиевидной (рис. 3). В рвущих телах флюидальная полосчатость параллельна их контактам, независимо от формы залегания тел. В экструзивах и малых субвулканических телах она часто проявляется по всему их сечению. В крупных



**Рис. 1.** Флюидальная полосчатость в покровах кремнекислых вулканитов.

Покровы риолитов: а – девон, горы Машан, хр. Чингиз, Центральный Казахстан; б – палеоген, верховья р. Партизанской, Южный Сихотэ-Алинь (справа сверху для масштаба положена шариковая ручка, показана стрелкой); в – покров позднечетвертичных трахидацитов, г. Эльбрус, Северный Кавказ.

субвулканических телах полосчатость отмечается лишь близ контактов, в то время как к центру тел она часто исчезает.

Вариации состава соседствующих флюидалных полосок в кремнекислых породах в разных случаях существенно отличаются.

Примером значительных вариаций состава соседствующих полосок по содержанию главных петрогенных элементов служат девонские покровы риолитов хребта Чингиз Центрального Казахстана (рис. 1а), детально описанные в работе А.А. Маракушева и Е.Б. Яковлевой [10] и трактуемые ими как проявление ликвационных явлений. Однако обращает на себя внимание постепенное изменение содержания натрия и калия с ростом кремнезема в полосках при одновременном широком разбросе этих компонентов (рис. 4), что указывает на более сложные процессы дифференциации магм в жидком состоянии [9], а также на происходящую в них кристаллизационную дифференциацию [1].

В других случаях состав полосок весьма близок. Примером служат магматические тела района Кавказских Минеральных Вод, относимые рядом исследователей к лакколитам. Во всех развитых здесь телах, а их состав варьирует от сиенитового до лейкогранитового, проявлена полосчатость в виде чередования светло- и темноокрашенных полосок [5]. Темноокрашенные полоски имеют эндоконтактовую зону закалки и нередко пред-

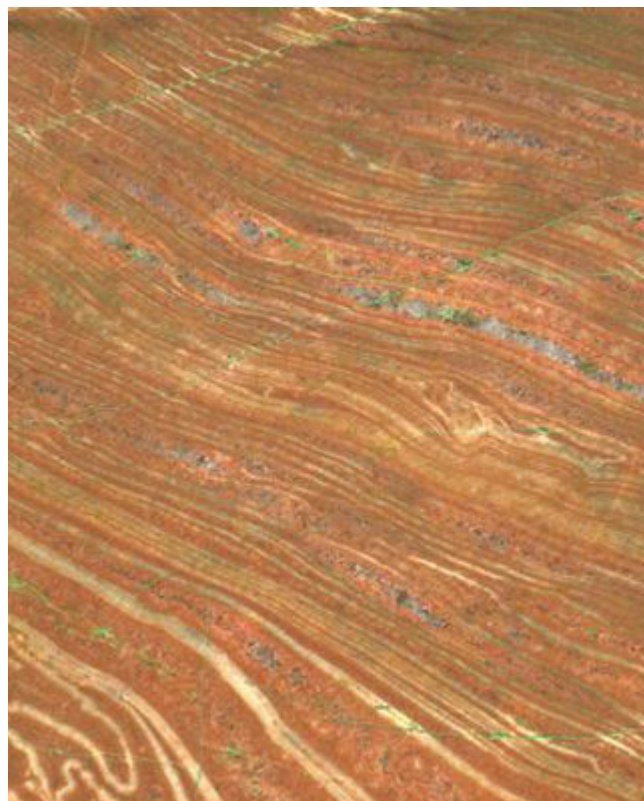


Рис. 2. Флюидалная полосчатость в пермских экструзивных телах ( $\times 3$  к натур. величине). Каркаралинский район, Центральный Казахстан.

Таблица 1. Сравнение состава темных и светлых полосок в лакколитах Кавказских Минеральных Вод (оксиды – мас. %, элементы – ppm).

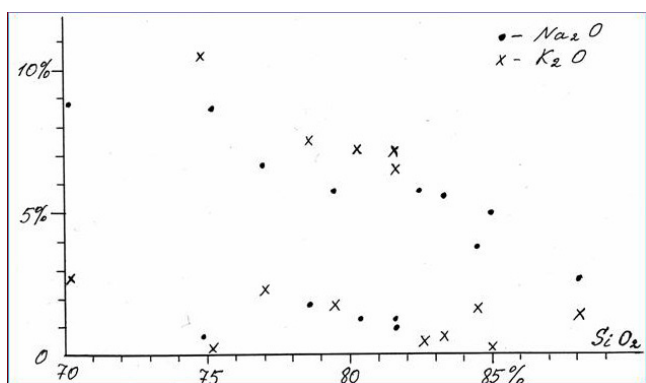
	Гора Змейка		Гора Верблюд Западный		Гора Кинжал	
	темные полоски (среднее из 4)	светлые полоски (среднее из 4)	темные полоски (среднее из 2)	светлые полоски (1)	темные полоски (1)	светлые полоски (1)
SiO <sub>2</sub>	69.21	69.62	66.71	67.01	69.47	68.58
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.28	0.38	0.40	0.25	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.30	14.31	15.17	15.22	15.14	14.97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.76	0.86	1.14	0.81	0.15	0.45
FeO	1.50	1.38	1.36	1.49	1.00	1.35
FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.97	1.60	1.19	0.61	6.7	3.0
MnO	0.053	0.051	0.056	0.054	0.026	0.034
MgO	1.22	1.17	1.30	1.26	0.56	0.73
CaO	2.00	1.97	2.12	2.17	1.86	1.98
Na <sub>2</sub> O	4.51	4.42	4.11	4.20	3.57	3.73
K <sub>2</sub> O	5.21	5.23	6.50	6.52	5.37	5.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.27	0.36	0.40	0.17	0.18
CO <sub>2</sub>	0.22	0.20	0.36	0.27	1.00	1.16
Rb	292	290	286	286	240	251
Sr	1104	1027	1496	1463	1439	1307
Y	14	14	16	18	13	10
Zr	224	226	269	272	227	225
Nb	18	18	19	20	15	15
Ba	1296	1270	2477	2345	1816	1903
Th	61.45	62.29	65.39	56.22	49.27	52.05
U	43.91	33.88	25.52	23.82	27.02	29.84

Примечание. Определения Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CO<sub>2</sub> выполнены О.Г. Унановой, Н.В. Королевой и С.И. Коган в лаборатории минерального вещества ИГЕМ РАН. Определения Th и U сделаны А.Л. Керзиным нейтронно-активационным методом в ИГЕМ РАН. Остальные определения сделаны А.И. Якушевым в ИГЕМ РАН рентгено-спектральным методом на приборе XRF08.





**Рис. 3.** Флюидально-полосчатая текстура кремнекислых покровов, переходящая близ кровли в брекчиевидную (а) или игнимбритоподобную (б, в). Трахидациты, г. Эльбрус.



**Рис. 4.** Вариации оксидов натрия и калия в зависимости от кремнезема в соседствующих флюидальных полосках риолитового покрова, по [10].

ставлены короткими обособлениями (рис. 5б, в). Эти полоски являются более ранними порциями расплава, в результате движения которого они нередко растаскивались в виде своеобразных укороченных выделений типа ранних фьямме в игнимбритах, для которых характерны своеобразные зоны закалки на границе с вмещающей массой [4].

Если макроскопически у темных полосок граница со светлыми полосками проявлена очень отчетливо, то под микроскопом эта граница не столь выразительна. Это говорит о расслоении еще текучего расплава. Вариации состава разноокрашенных полосок весьма незначительны и можно лишь говорить о некоторой тенденции к большей кремнекислотности светлоокрашенных полосок, меньшей роли в них двухвалентного железа по сравнению с трехвалентным, их меньшей общей железистости и магниальности по сравнению с темноокрашенными полосками. Заметнее различия указанных полосок по содержанию микроэлементов (табл. 1). Наличие хорошо выраженной полосчатости по всему объему магматических тел района Кавказских Минеральных Вод свидетельствует о их формировании в результате внедрения относительно маловязкого и очень подвижного расплава. Его высокая подвижность была обусловлена насыщенностью летучими компонентами, в первую очередь, фтором и бором. Это фиксируется присутствием топаза в телах гранитоидного состава, появлением их разностей литий-фтористого типа, наличием бор-содержащих скарнов вокруг некото-



**Рис. 5.** Полосчатость магматических тел района Кавказских Минеральных Вод.

а – тонкая флюидальная полосчатость, б – темноокрашенные полоски в виде коротких уплощенных обособлений, в – зона закалки в темноокрашенных полосках; гора Змейка близ г. Минеральные Воды.



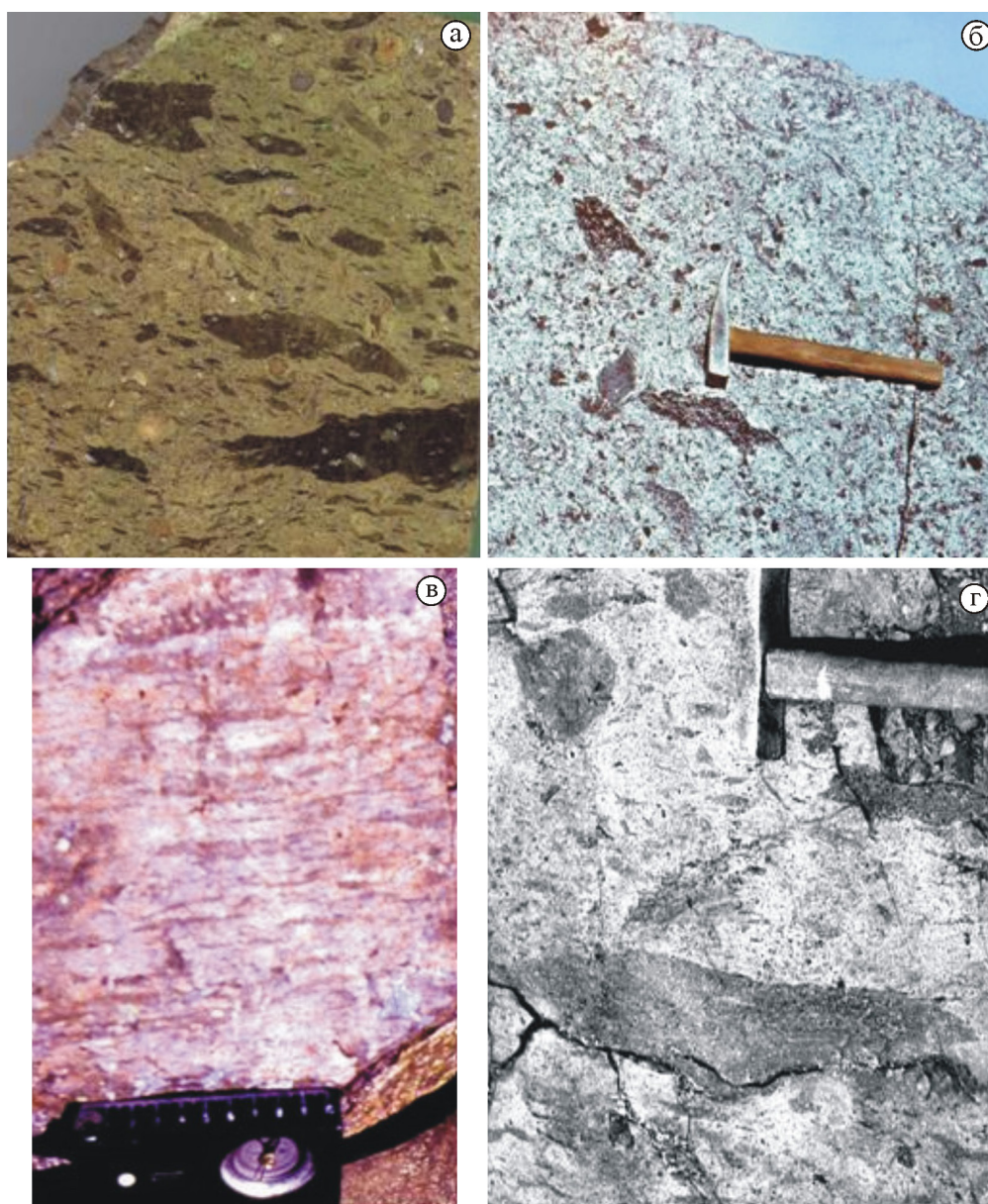
рых тел. Обилие в данных телах многочисленных и разнообразных ксенолитов от габбро до гранитов разной степени переработки, широкое распространение включений апатит-карбонат-диопсид-флогопитовых пород, представляющих глубоко переработанные расплавом ксенолиты карбонатных пород [11], свидетельствует о неоднородном составе расплава при существенном вкладе в его формирование процессов ассимиляции. Результатом этого является неуравновешенность начального изотопного состава Ar и Sr данных тел [8].

Указанные выше особенности строения геологических тел, сложенных кремнекислыми лавами,

свидетельствуют о высокой подвижности и текучести кремнекислых расплавов. Это обусловлено присутствием в расплаве летучих компонентов, о которых можно косвенно судить, как в случае магматических тел района Кавказских Минеральных Вод, по наличию бор- или фтор-содержащих минералов в близконтактных изменениях вмещающих пород и в самих телах.

#### ПОЛОСЧАТОСТЬ В ИГНИМБРИТАХ

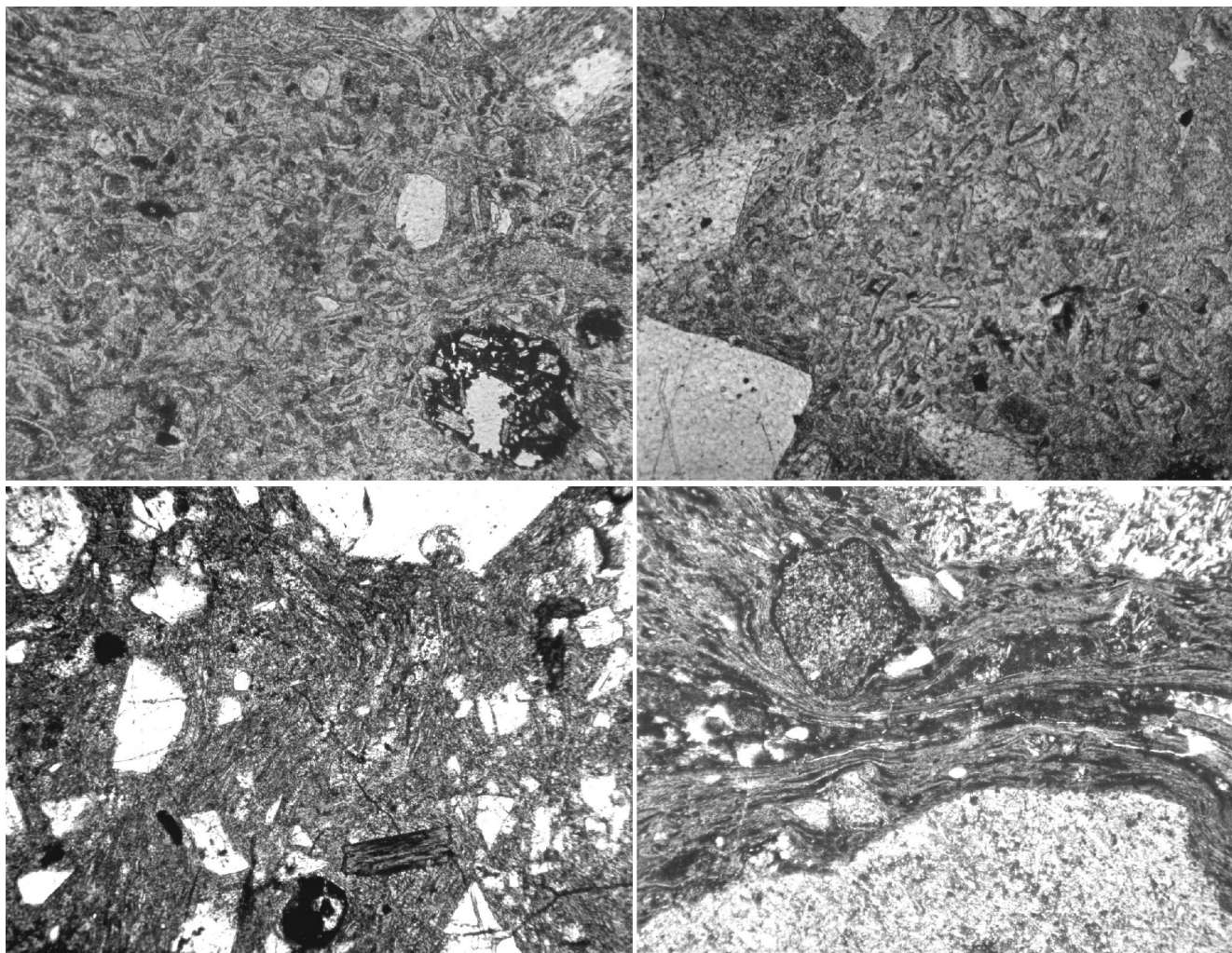
Еще разнообразнее проявления полосчатости в игнимбритах, идентичной как в покровых (рис. ба–в),



**Рис. 6.** Полосчатость игнимбритов.

а–в – покровы: а – кайнозойские игнимбриты Новой Зеландии (коллекция А.П. Хренова, натуральная величина); б – кайнозойские игнимбриты, пос. Жупаново, Камчатка; в – каменноугольные игнимбриты, г. Коргантас, Центральный Казахстан; г – кольцевая дайка, девонские игнимбриты, г. Машан, хр. Чингиз, Центральный Казахстан.





**Рис. 7.** Структурные узоры основной массы игнимбритов в зависимости от наблюдаемого сечения.

Фото шлифов, взятых от одного образца под разными сечениями. Без анализатора. Верхнемеловые игнимбриты Южного Сихотэ-Алиня; верховья р. Партизанской.

так и в слагаемых ими дайковых телах (рис. 6г). Общий полосчатый облик этим породам придают либо ориентированно расположенные фьямме, либо полосчатость заключающего их базиса [3, 4, 6]. Фьямме имеют сложное строение. Они разнообразны по морфологии и структурным соотношениям с матриксом, часто сами полосчаты или устроены по типу “фьямме во фьямме”. Заключающий фьямме базис (матрикс) породы также полосчат и в зависимости от наблюдаемого сечения выглядит существенно различно (рис. 7), что необходимо учитывать при диагностике данных пород [6].

Среди фьямме выделяется два морфологических типа [4]. I тип – это эллипсоидальные обособления разных сечений (рис. 8). Они резко отграничены от базиса породы, а флюидальные полосы в них как бы срезаются полосками последнего. Такие обособления обычно имеют маломощную (шириной в несколько миллиметров) эндоконтактовую зону закалывания более тонкого строения,

исключающую их принадлежность к ксеногенным образованиям. Одни из них имеют закругленные окончания на флангах, другие – постепенно утончающиеся окончания. Первые из указанных разновидностей являются наиболее ранними обособлениями из расплава, а вторые – относительно более поздними. II тип фьямме – уплощенные пламеобразные обособления. Они нечетко ограничены, имеют изгибающиеся и расщепляющиеся окончания, которые постепенно сливаются с базисом породы, как бы растворяясь в нем. Это наиболее поздние обособления.

Необходимо подчеркнуть, что указанные типы фьямме свойственны игнимбритовым телам различных форм залегания [6].

Петрохимические параметры указанных разновидностей фьямме существенно различаются. Резко отграниченные от базиса фьямме (I тип) обеднены кремнеземом и калием, обогащены алюминием и натрием. Нечетко отграниченные фьям-

ме (II тип), наоборот, обогащены кремнеземом и калием и обеднены алюминием и натрием. Вместе с тем, детальное изучение многих игнимбритовых массивов выявило целый спектр промежуточных разновидностей между указанными морфологическими типами фьямме. Было также установлено, что петрохимические параметры фьямме меняются в целом постепенно и плавно от наиболее ранних их разновидностей к поздним; в соответствии с этим плавно меняются содержания микроэлементов [4, 7]. Эти данные говорят о направленной дифференциации расплава, результатом которой является ряд последовательно обособившихся из него фьямме, различных по морфологии и составу.

Контрастный состав соседствующих полосок в лавах или фьямме в игнимбритах объясняют результатом смешения разных исходных расплавов или магм, ликвиацией расплава, флюидально-магматическим или диффузионно-магматическим расслоением расплава и т.д. Часто генетические представления о полосчатости кремнекислых вулканитов базируются на анализе распределения в полосках тех или иных элементов, без учета динамики формирования самой горной породы и особенностей строения слагающих ее геологических тел. В этом отношении важно выявление парагенетических признаков составных частей пород в их взаимосвязи с особенностями вещественного состава породы и сравнение выявленных устойчивых парагенезисов в разных геологических телах [2], что позволит выработать дополнительные данные о характере формирования полосчатости. Не менее важно также изучение изотопных систем составных частей породы и характера распределения в них редких элементов. Прежде всего необходимо установить из одного или нескольких расплавных источников сформировалась вся совокупность фьяммевидных обособлений в игнимбритах. Полученные для игнимбритов некоторых массивов изотопные данные свидетельствуют о формировании всего спектра фьяммевидных обособлений из единого для каждого конкретного массива магматического расплава [7]. Проведенные петро-геохимические исследования всего спектра фьямме игнимбритов многих массивов разного возраста в разных регионах показали, что вещественные особенности составных частей этих пород находятся в закономерной связи с характером структурно-текстурного узора их базиса, что во многих игнимбритовых массивах типоморфные для них фьямме образуют закономерные хронологические ряды и что петрохимические параметры этих фьяммевидных обособлений меняются в целом постепенно и плавно от наиболее ранних их разновидностей к поздним. В соответствии с этим, плавно меняются и содержания в них микроэлементов.

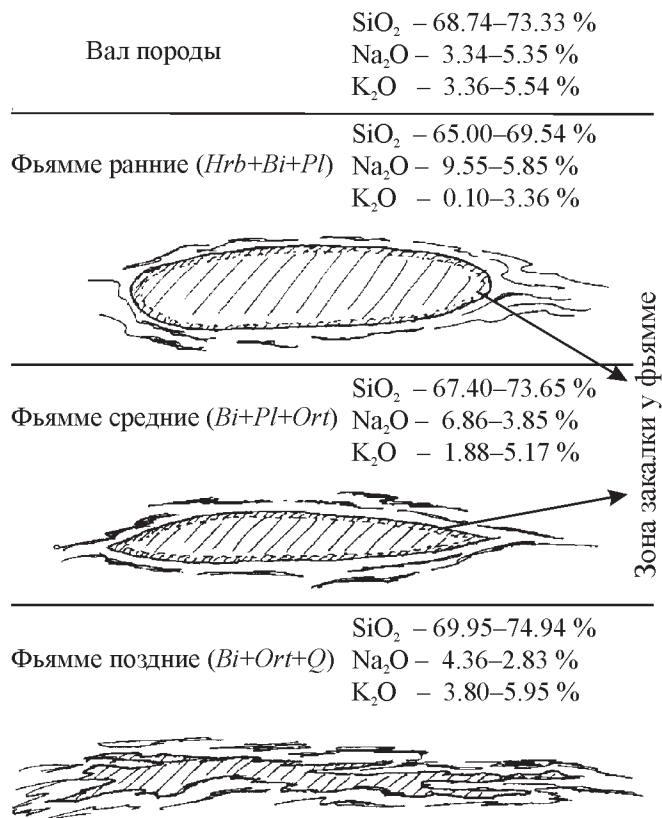


Рис. 8. Типы фьяммевидных обособлений в игнимбритах и их состав. Каменноугольный массив Коргантас. Центральный Казахстан.

Содержание петрогенных оксидов дано в мас. %; *Hbl* – роговая обманка, *Bt* – биотит, *Pl* – плагиоклаз, *Or* – ортоклаз, *Qtz* – кварц.

## ВЫВОДЫ

Наличие полосчатости в кремнекислых лавах и игнимбритах, часто очень тонкой, хорошо выраженной и проявленной по всему объему слагаемых ими геологических тел, свидетельствует о высокой подвижности и текучести кремнекислых расплавов. Это обусловлено насыщенностью их летучими компонентами. В лавах в одних случаях можно видеть широкий диапазон вариаций состава соседствующих полосок, в других – соседствующие полоски очень близки по составу. В игнимбритах полосчатость проявлена на всех стадиях их формирования в виде полосчатого внутреннего строения фьяммевидных обособлений, их ориентированного расположения и полосчатого заключающего базиса.

Формирование полосчатости или расслоенность лав происходит в результате взаимодействия сложных процессов дифференциации магмы в жидком состоянии и кристаллизационной дифференциации магматического расплава в условиях его движения. Особенно интенсивно движение расплава проявлено при формировании игнимбритов. Многократно



возобновляющиеся движения расплава нарушают ход процесса кристаллизационной дифференциации, вследствие чего происходит многократное отторжение образующихся обособлений от остаточного расплава и в конечном итоге дезинтеграция расплава и его многократное расслоение.

Указанные особенности строения кремнекислых вулканитов свидетельствуют также о том, что вулканические извержения кремнекислого материала сопровождались высвобождением существенного количества летучих компонентов, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду. Подобное явление необходимо учитывать при прогнозировании последствий вероятного возобновления активности вулканов, находящихся сейчас в состоянии покоя.

*Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (№ НШ-1251.2003.5 и № НШ-4437.2006.5), Программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 (2003–2009 гг.) и № 4 (2010 г.) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08–05–00423).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольнец О.Н.* О неоднородности составов в потоках и экструзиях кислых лав // Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973. С. 57–92.
2. *Курчавов А.М.* Латеральная изменчивость вулканистов (на примере Южного Приморья). Москва: Наука, 1979. 145 с.
3. *Курчавов А.М.* Расслоенность игнимбриитообразующих расплавов // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252, № 4. С. 952–953.
4. *Курчавов А.М.* Геохимические особенности палеозойских игнимбриитов Центрального Казахстана и их петрогенетическое значение // Петрология. 2008. Т. 16, № 6. С. 657–672.
5. *Курчавов А.М.* Полосчатость лакколлитов Кавказских Минеральных Вод и проблемы ее формирования. // Магматизм и рудообразование: мат-лы конф., посвященной 125-летию со дня рождения акад. А.Н. Заварицкого. М.: ИГЕМ, 2009. С. 75–77.
6. *Курчавов А.М.* Проблемы диагностики и петрогенеза игнимбриитов // Вулканология и сейсмология. 2009. № 2. С. 3–12.
7. *Курчавов А.М., Шатагин К.Н.* Особенности формирования фьяммевидных обособлений в игнимбриитах массива Коргантас (Центральный Казахстан) по данным геолого-петрографического и изотопно-геохимического изучения // Петрология. 1999. Т. 7, № 3. С. 316–334.
8. *Лебедев В.А., Чернышев И.В., Авдеев А.С. и др.* Неуравновешенность начального изотопного состава Ag и Sr в сосуществующих минералах миоценовых гипабиссальных гранитоидов района Кавказских Минеральных Вод // Докл. АН. 2006. Т. 410, № 1. С. 95–100.
9. *Маракушев А.А., Яковлева Е.Б.* Генезис кислых лав. // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1975. № 1. С. 3–24.
10. *Маракушев А.А., Яковлева Е.Б.* Ликвационная неоднородность стекловатой основной массы кислых эффузивов // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1993. № 6. С. 78–92.
11. *Носова А.А., Сазонова Л.В., Докучаев А.Я. и др.* Неогеновые позднеколлизийные субщелочные гранитоиды района Кавказских Минеральных Вод: Т-Р-fO<sub>2</sub> условия становления, фракционная и флюидно-магматическая дифференциация // Петрология. 2005. Т. 13, № 2. С. 139–178.

*Рецензент Е.И. Богданова*

## Problems of forming of acid volcanic rocks bending

**A. M. Kurchavov**

*Institute of Geology Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (IGEM),  
Interdepartmental Petrographic Committee of Departmental Earth Sciences of RAS*

Acid melts are moving and flow well. The good thin bending of acid lavas and ignimbrites confirm it. The composition of lava fluid bands are different depending upon the regime of eruption. The petrochemical composition of fiammes in ignimbrites changes from the earliest fiammes to the latest ones gradually. The forming of melt bending is the result of complicated interaction of magma melt differentiation, crystal differentiation in melt and its moving.

Key words: *acid volcanic rocks, lava, ignimbrite, bending, dividing, fiamme.*