

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИКВАЦИИ В ПЕРМСКИХ РИОЛИТАХ ХУТОРСКОЙ СУБВУЛКАНИЧЕСКОЙ ИНТРУЗИИ КУРГАНСКОГО ЗАУРАЛЬЯ

Г.И. Самаркин*, Е.Я. Самаркина*, А.М. Пумпянский**

*Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН
620151, Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: osipova@igg.uran.ru

**Уральская геологосъемочная экспедиция
620014, Екатеринбург, ул. Вайнера, 55
Поступила в редакцию 26 декабря 2003 г.

В пермских риолитах Хуторской субвулканической интрузии установлено многоэтапное проявление ликвационной дифференциации в виде повторяющихся слоев мощностью 1.7-13.5 м, содержащих белые шаровые выделения диаметром до 2 см (сферолоиды). По составу шаровые выделения относятся к щелочным трахидацитам, представленным существенно натриевым и существенно калиевым типами. В обоих типах от центра к краю в сферолоидах установлено снижение содержания натрия и увеличение калия, что объясняется различным поведением натрия и калия при дифференциации расплава. Решающее влияние на расщепление риолитового расплава оказывало содержание фтора. Ликвационная дифференциация происходила по риолит-трахитовому типу.

Ключевые слова: *ликвационная дифференциация, риолит, субвулканическая интрузия.*

GEOLOGICAL, PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL PECULIARITY LIQUID SPLITTING OF PERMIAN RHYOLITE OF THE HOOTORSKAJA SUBVOLCANIC INTRUSION OF THE KURGAN TRANSURALS

G.I. Samarkin*, E.Ja. Samarkina*, A.M. Pumpjanskiy**

* Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS
** Urals Geological Expedition

In Permian rhyolite of the Hootorskaja subvolcanic intrusion it has been determined the many-stage liquid immiscibility in the form repeated of layers 1.7-13.5 m thick with the releases of white balls up to 2 sm in diameter (spheroloides). The consist of the balls is essentially sodic and potassic alkali trachidacite. From the centre to the border in both types of the spheroloides decrease natrium and increase potassium has been determined, it is accounted by different behaviour natrium and potassium in differentiation of melting. The quantity of fluorine is an important influence for splitting of rhyolite melting. There is magma splitting by rhyolit-trachytic type.

Key words: *liquid splitting, rhyolite, subvolcanic intrusion.*

По проблеме ликвации в кислых магматических породах у исследователей нет однозначного мнения. Многие исследователи возможность ликвации в природных силикатных расплавах ставят под сомнение, по крайней мере в отношении объемов проявления [Белянкин, 1933, 1949; Заварицкий, Соболев, 1961; Коржин-

ский, 1962], или признают ее как редкое исключение [Анфилогов, 1975]. Другие, наоборот, считают, что ликвация в кислых природных расплавах достаточно широко развита на макро- и микроуровнях и приводят достаточно убедительные факты ее проявления [Воловикова, 1955; Короновский и др., 1976; Маракушев и

др., 1979; Реддер, 1983; Фаворская, 1963; Фромберг, 1976; Царев, 1980 и др.]. В кислых вулканических породах на макроуровне эти доказательства сводятся к появлению стекловатых или раскристаллизованных резко ограниченных шаровых скоплений, отличных по составу от цементирующих их пород, кристаллизация которых происходила при высокой насыщенности летучей фазы и в первую очередь H_2O , F, Cl, B, H_2S .

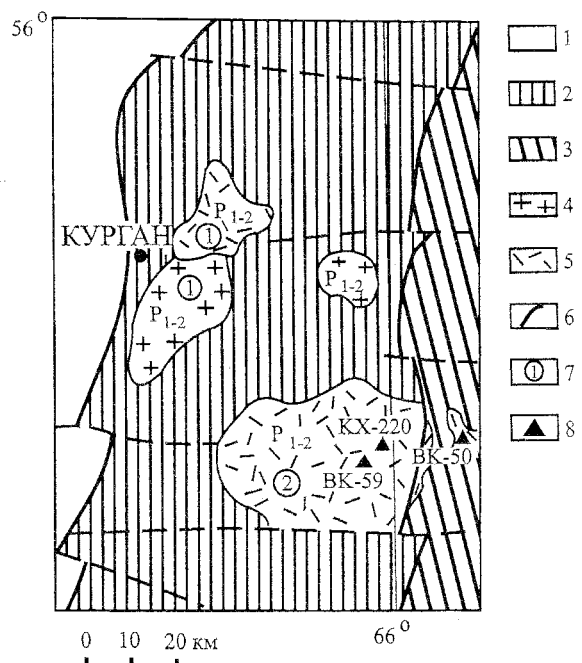
Неоднозначное отношение разных исследователей к одним и тем же фактам природного проявления ликвационной дифференциации говорит об отсутствии надежных критериев диагностики этого процесса, что в свою очередь объясняется, с одной стороны, – слабой изученностью природных объектов, где наблюдается его проявление (отсутствие геохимических исследований, микроанализа сферолоидов и т.д.), с другой – недостаточностью экспериментальных исследований, которые отвечали бы природным процессам ликвации. Имеющиеся в геологической литературе многочисленные описания проявлений ликвации в кислых вулканических породах, основанные на петрографическом изучении и химических анализах шаровых выделений и цементирующих их риолитов [Левинсон-Лессинг, 1905; Бурьянова, Фаворская, 1961; Говорова, 1981; Руб, 1969 и др.], не дают однозначных доказательств проявления процессов ликвации и позволяют лишь высказать предположение о их развитии. Проведенные исследования дают основание говорить о сложном проявлении и многократном повторении процессов ликвации при становлении в одних и тех же субвулканических интрузиях.

Геологическая характеристика

Хуторская интрузия входит в состав посторогенного гранит-риолитового комплекса, завершающего в Зауралье верхнепалеозойский тектоно-магматический этап развития Уральской складчатой области и относится к вулканоплутонам [Устиев, 1966]. Интрузия расположена в 50 км к юго-востоку от г. Кургана среди среднепалеозойских вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород Тоболо-Убаганского поднятия, перекрытого мощным чехлом мезо-кайнозойских отложений (рис. 1). Интрузия вскрыта шестью скважинами колонкового бурения. Контуры ее определены по данным гравиметрических и магнитометрических исследований. В плане интрузия имеет изометричную форму диаметром около 30-35 км, несколько вытянутую в широтном направлении, т.е. является крупным интрузивным телом площадью около 1000 кв. км, сопоставимым по площади и объему с крупными гранитными массивами Главного гранитного пояса Урала. В Уральской складчатой области среди гранитных поясов Восточно-Уральского и Зауральского поднятий интрузии такого типа отсутствуют. В Зауралье вулканоплутоны выделены впервые. Ранее они относились к вулканокупольным образованиям [Пумпянский, 1990; Пумпянский, Самаркин, 1991, 1997], что не отвечает их петросоставу, объему проявления и тектоническим условиям формирования. При-

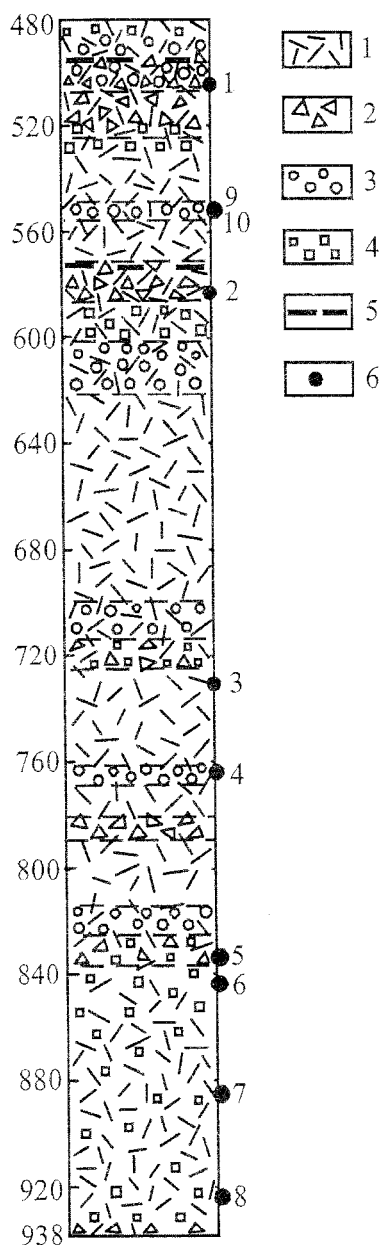
Рис. 1. Структурно-тектоническая схема размещения вулканоплутонов Курганского Зауралья по [Пумпянский, 1990].

1 – Тюменско-Кустанайский прогиб, 2 – Тоболо-Убаганское поднятие, 3 – Вагай-Ишимская впадина, 4 – граниты, 5 – гранит-порфиры, риолиты и риодациты, 6 – тектонические нарушения; 7 – вулканоплутоны: 1 – Курганский, 2 – Хуторской; 8 – скважины.



уроченность к зонам поднятий, большие объемы интрузий, что подтверждается развитием здесь регионального минимума силы тяжести, тесная структурно-пространственная связь кислых эффузивов и сходных с ними по химическому составу гранитов и гранит-порфиров позволяют относить эти батолитоподобные тела к вулcano-плутонам, где кислые интрузивные и эффузивные фации произошли из одного магматического очага и близки по времени формирования.

По данным колонкового бурения Хуторская интрузия сложена главным образом субвулканическими гранит-порфирами и кварцевыми порфирами при подчиненном развитии кислых вулканических пород – риодацитов и риолитов.



С севера и запада интрузия контактирует с вулканогенными и терригенными красноцветными отложениями среднего-позднего девона Тоболо-Убаганского поднятия, с востока – с позднедевонско-турнейскими терригенно-карбонатными отложениями Вагай-Ишимской впадины, на юге – по тектоническому нарушению с осадочными и вулканогенными отложениями триаса. По данным колонкового бурения риолиты восточного сателлита интрузии залегают на осадочных породах позднекаменноугольного возраста (скважина ВК-50), т. е. относятся к послеканменноугольному времени. Определенный калий-аргоновым методом возраст риолитов этой скважины равен 263 ± 7 млн лет, риолитов главного тела Хуторской интрузии – 253 ± 3 и 253 ± 25 млн лет (скважина КХ-220), гранит-порфиров – 259 ± 4 млн лет (скважина ВК-59). По шкале абсолютных значений геологического времени [Харланд и др., 1985] – полученные калий-аргоновым методом данные абсолютного возраста риолитов и гранит-порфиров Хуторской субвулканической интрузии соответствуют концу раннепермской и позднепермской эпохам, т. е. отвечают постколлизивной стадии развития Уральской складчатой области [Самаркин, Чувашов, 1978].

Петрографическая характеристика

Риолиты вскрыты в восточном эндоконтакте Хуторской интрузии скважиной колонкового бурения КХ-220 после мезо-кайнозойских отложений и коры выветривания риолитов в интервале глубин 480-938 м (рис. 1, 2). Макроскопически это стекловатые породы светло-серого и темно-серого цвета до буровато-серого и вишнево-красного в местах гематитизации риолитов. Порода содержит мелкие (до 1-2 мм) вкрапленники светло-коричневого полевого шпата (преобладает кислый плагиоклаз), составляющего обычно от 1% до 5%, и лишь в интервале 834-938 м содержание вкрапленни-

Рис. 2. Разрез кислых вулканических пород Хуторской интрузии по скважине КХ-220 (глубины в метрах).

1 – риолиты, риодациты; 2 – автобрекчия. 3 – сферолоиды; 4 – вкрапленность флюорита; 5 – гематитизация; 6 – места отбора проб на химический анализ, номер соответствует номеру в табл. 1.

ков увеличивается до 25% объема риолитов. Среди вкрапленников редко встречаются мелкие (1-2 мм) зерна кварца. По всему керну скважины в риолитах видна мелкая вкрапленность пирита. Текстура риолитов флюидальная и тонкополосчатая (полосы 1-10 мм), обычно выраженная изменением цвета полос и иногда степенью их раскристаллизации. Структура фельзитовая, глобулярная, сферолитовая (?), местами шаровая, реже перлитовая. Преобладает фельзитовая структура. В основной массе риолитов видны многочисленные тонкие, игольчатые, беспорядочно рассеянные микролиты биотита (?). Показатель преломления микролитов больше показателя преломления включающих их микрокристаллических зерен кварца и полевого шпата, угасание – близкое к прямому. Вдоль концентрических трещин в местах развития перлитовой структуры нередко проявлены процессы аргиллизации. Кроме аргиллизации в риолитах местами установлены процессы альбитизации и окварцевания. Флюидальность и полосчатость в риолитах ориентирована под углом от 10-15° до 50-60° к оси керна. В риолитах преобладают крутые углы наклона флюидальности и полосчатости.

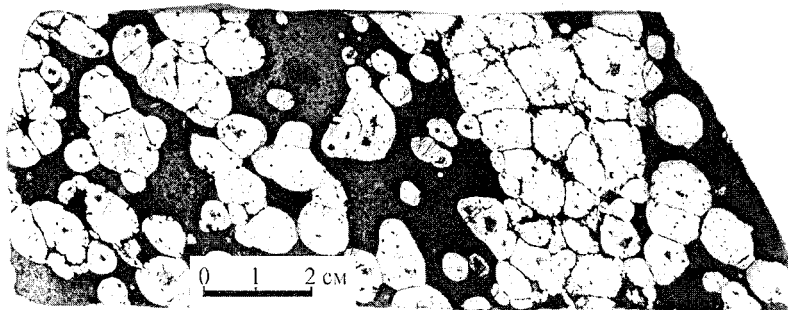
В риолитах скважины КХ-220 встречается шесть слоев магматических автобрекчий (рис. 2). Видимая мощность их варьирует от 6 м до 25 м. Границы между слоями автобрекчий и риолитами, не содержащими обломков, постепенные. Ввиду растаскивания обломков внедряющейся магмой, указанная мощность, безусловно, превышает первичную мощность очередной застывшей поверхности магматического расплава риолитов. Многократное проявление слоев автобрекчий говорит о медленном продвижении интрузии вверх и о многократном взламывании ее застывшей поверхности поднимающимся снизу магматическим расплавом, что подтверждает указанный выше ее субвулканический характер. В слоях автобрекчий наблюдаются обломки риолитов остроугольной формы раз-

мером от 0.2-0.3 см до 5 см, сцементированные светло-серым и темно-серым риолитом. В составе слоев автобрекчий содержание обломков составляет от 30% до 60-70%. В отличие от светло-серых и темно-серых цементирующих их риолитов, они часто имеют темно-бурый и темно-коричневый цвет, что объясняется накоплением и высокой степенью окисления в них железа. В некоторых слоях автобрекчий это подтверждается интенсивной гематитизацией пород (интервалы 496-498 м и 513.5-574 м). В то же время есть автобрекчии, состав обломков которых аналогичен составу цементирующих риолитов (интервал 934-938 м).

Со слоями автобрекчий связано образование в риолитах сферолоидов и отложение флюорита в виде тонких прожилков и мелкой (до 1-1.5 мм) вкрапленности. Форма сферолоидов округлая, каплевидная, иногда вытянутая в направлении флюидальности и полосчатости пород (рис. 3). Цвет серовато-молочно-белый, светло-серый до сиреневатого и слабовишневого в местах гематитизации риолитов (скв. КХ-220, интервал 496-498 м). Размер их варьирует от 0.1 см до 2 см. Одиночные сферолоиды в риолитах встречаются редко. Обычно они группируются слоями непосредственно за слоем автобрекчий или перед слоем автобрекчий, реже в самих автобрекчиях (рис. 2). Количество сферолоидов в слоях составляет от 50% до 80% объема породы. Видимая мощность сферолоидных слоев, по данным керна скважины КХ-220, в риолитах колеблется от 1.7 м (интервал 489.7-491.4 м) до 13.5 м (интервал 602.3-615.8 м). Сферолоиды, так же как и обломки автобрекчий, расположены в направлении течения магматического расплава и ориентированы согласно с флюидальностью и полосчатостью риолитов под углом от 10-15° до 50-60° к оси керна. В скважине КХ-220 нет закономерной смены наклона сферолоидных слоев. Преобладают крутые углы их наклона к оси керна, аналогично флюидальности и полосчатости риолитов.

Рис. 3. Сферолоиды (белое) в риолите(темно-серое).

Полированная поверхность образца керна скв. КХ-220, глубина 555 м.



При микроскопическом изучении сферолоиды обычно представлены изотропным нераскристаллизованным стеклом. Показатель преломления этого стекла ниже показателя преломления канадского бальзама во всех направлениях и намного ниже фельзитовой основной массы цементирующих риолитов, что говорит о преобладании в сферолоидах калиевой составляющей. Края сферолоидов везде четко ограниченные, ровные, местами заливообразные или зазубренные (рис. 4, 5, 7). Сферолоиды содержат аналогичные риолитам таблитчатые мелкие (1-2 мм) вкрапленники буроватого и коричневого альбита и мелкие включения зерен пирита (рис. 4, 7). Показатель преломления вкрапленников альбита больше показателя преломления стекла сферолоидов и близок показателю

преломления канадского бальзама. Кроме таблитчатых вкрапленников альбита сферолоиды содержат многочисленные удлиненные микролиты полевого шпата, показатель преломления которых несколько выше показателя преломления вмещающего их стекла сферолоидов, что позволяет относить их к альбиту. Микролиты нередко образуют микротрахитоидную структуру, окаймляют захваченные сферолоидами вкрапленники альбита, иногда следуют вдоль края в сферолоидах, что подтверждает кристаллизацию их из обособленного магматического расплава (рис. 4). Распределение в шлифе микролитов альбита в сферолоидах часто характеризуется одним направлением, что говорит о кристаллизации их в условиях течения магматического расплава. В центральных частях

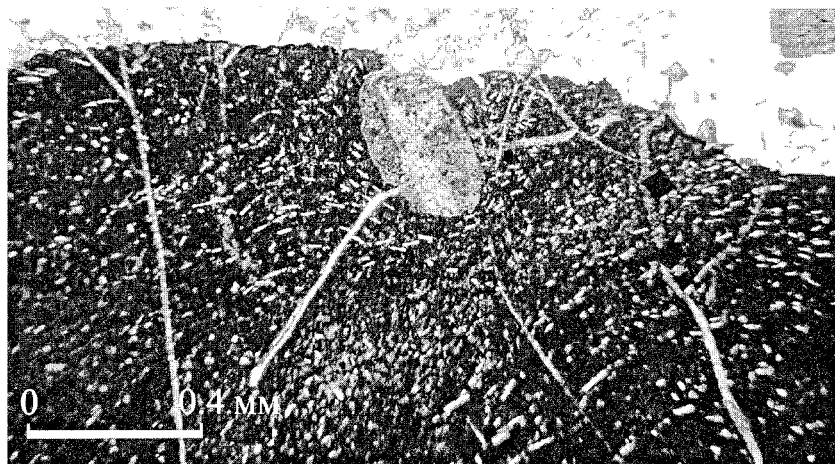


Рис. 4. Микролиты альбита (белые штрихи) в сферолоиде (черное) окаймляют захваченный сферолоидом таблитчатый вкрапленник альбита ранней генерации.

Вверху – цементирующий риолит. Шлиф КХ-220/555. Николи +.

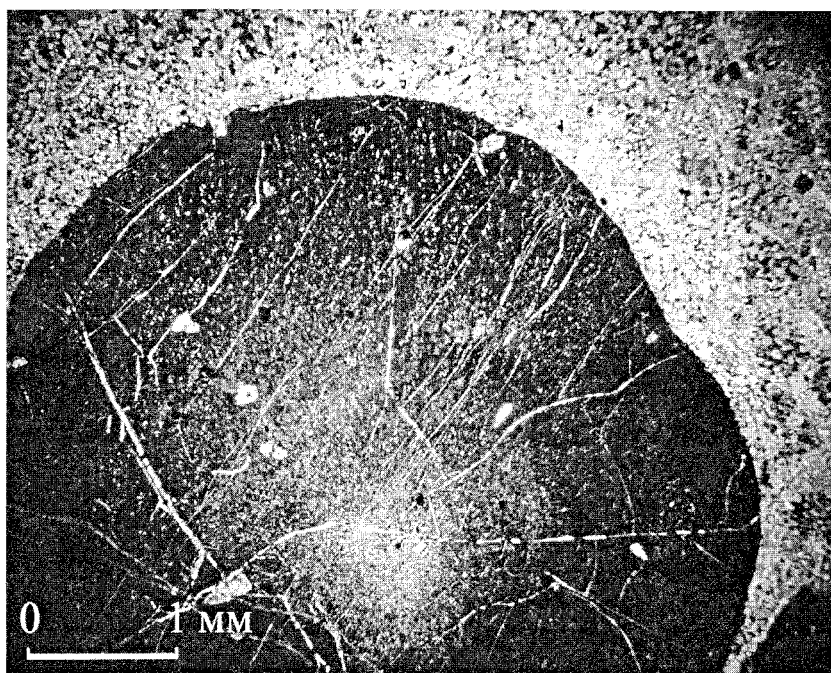


Рис. 5. Сферолоид (черное) в риолите (серое).

Видны две системы микротрещин – радиальные и продольно-параллельные. Вдоль продольно-параллельных микротрещин расположены микролиты альбита (белые точки и штрихи). Вдоль границы сферолоида в риолите видны скопления микрзернистого кварца (белое). Шлиф КХ-220/555. Николи +.

некоторых сферолоидов наблюдается слабая раскристаллизация изотропного стекла, выраженная скоплением микрозерен, просвечивающих в скрещенных николях (рис. 5). В центре некоторых сферолоидов видна сноповидная и радиальнолучистая раскристаллизация высококалиевого стекла, выраженная вторичными тонкими радиальнолучистыми агрегатами микрофельзитового строения. В сферолоидах иногда видны многочисленные тонкие радиально расположенные и продольно-параллельные микротрещины, секущие сферолоиды в одном направлении (рис. 5). Радиальные микротрещины выполнены слабо раскристаллизованным чистым не пелитизированным стеклом. Продольно-параллельные микротрещины "сухие" и более тонкие. Радиальные микротрещины формировались позднее продольно-параллельных, так как в ряде случаев они отчетливо пересекают в сферолоидах продольно-параллельные микротрещины и продолжают в цементирующем риолите. Продольно-параллельные микротрещины сферолоидов, в отличие от радиальных, не распространяются в цементирующие риолиты, что говорит о их обособленном развитии от риолитов, подтверждая расщепление исходной риолитовой магмы на две самостоятельные жидкие фазы. Вдоль продольно-параллельных микротрещин, часто согласно, располагаются микролиты альбита, образуя местами микротрахитоидную структуру (рис. 5). Ясно одно, что, при кристаллизации микролитов аль-

бита, — сферолоиды испытывали давление со стороны риолитового магматического расплава, что говорит о близком времени кристаллизации как сферолоидов, так и цементирующих их риолитов. В то же время очевидно, что сферолоиды формировались после кристаллизации в риолитах вкрапленников полевого шпата, что подтверждается присутствием одинаковых по размеру вкрапленников альбита как в сферолоидах, так и в риолитах. Кроме указанных систем трещин, есть постмагматические трещины, секущие и сферолоиды и цементирующие их риолиты. Они выполнены буроватыми пелитоморфными минералами постмагматического этапа аргиллизации риолитов, sporadически проявленного по керну скважины КХ-220.

Химический состав риолитов и сферолоидов

Химический состав кислых вулканитов Хуторской субвулканической интрузии отвечает риодацитам и риолитам. По содержанию K_2O состав вулканитов соответствует составу кислых пород высококалиевого и абсарокит-шошонит-латит-трахитовой серии. По сумме щелочей (K_2O+Na_2O) они относятся к известково-щелочной и субщелочной серии. К известково-щелочной серии относятся риолиты, к субщелочной — риодациты (рис. 6). В химическом составе выделенных групп пород содержание калия пре-

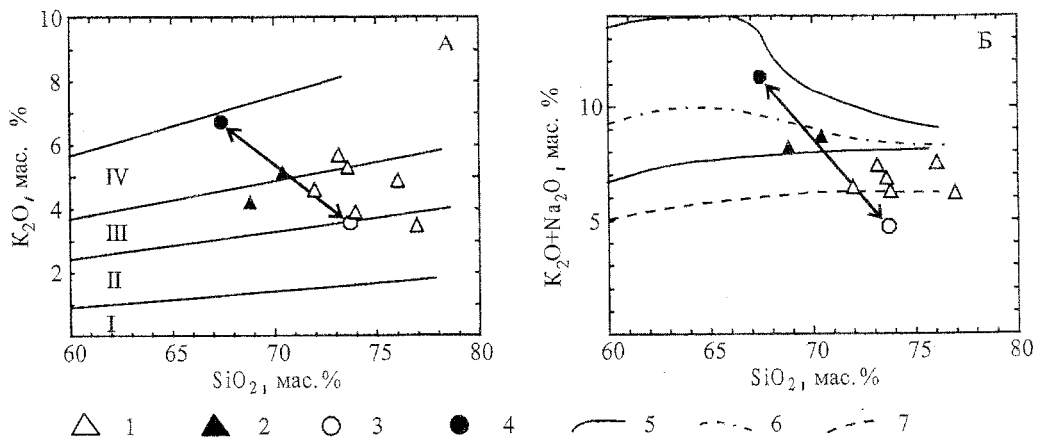


Рис. 6. Классификационные диаграммы $K_2O - SiO_2$, $(K_2O+Na_2O) - SiO_2$ состава вулканических пород по содержанию щелочей [Классификация ..., 1981; Петрология ..., 1987].

1 — риолит. 2 — субщелочной риодацит. 3 — риолит цементирующий сферолоиды обр. КХ-220/555. 4 — щелочной трахидацит сферолоидов обр. КХ-220/555.

А. I-IV — поля серий пород по [Петрология ..., 1987]: I — низкокалиевая; II — умереннокалиевая; III — высококалиевая; IV — абсарокит-шошонит-латит-трахитовая.

Б. 5 — границы поля субщелочных пород, 6 — нижняя граница поля щелочных пород, содержащих щелочные пироксены и амфиболы. 7 — верхняя граница поля пород низкокалиевой серии.

обладает над натрием ($K_2O/Na_2O=1.05-3.42$). Все они относятся к группе пород пересыщенных глиноземом, характеризуются низкой известковистостью, повышенной щелочностью (особенно калиевостью), высокой железистостью и низкой степенью окисленности железа, за исключением проб 3 и 5, что, вероятно, связано с его вторичным окислением (табл. 1).

В отличие от риолитов и риодацитов, химический состав изотропного стекла сферолоидов близок химическому составу щелочных трахидацитов, отличаясь от эталонных составов этих пород низким содержанием кальция [Богатиков и др., 1987]. По содержанию K_2O они принадлежат к щелочной абсарокит-шошонит-латит-трахитовой серии, а по сумме щелочей

Таблица 1

Химический состав кислых вулканитов и сферолоидов (мас.%)
Хуторской субвулканической интрузии, скважина КХ-220

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глуб. в м.	501.2	582	733	763	834.6	841	887	926.1	555a	555 б
SiO ₂	73.14	73.78	76.96	76.06	71.96	73.60	68.82	70.42	73.70	67.44
TiO ₂	0.28	0.31	0.22	0.21	0.46	0.33	0.36	0.33	0.28	0.28
Al ₂ O ₃	12.97	12.90	10.97	10.83	12.55	12.90	15.36	13.55	14.27	17.51
Fe ₂ O ₃	0.67	0.77	1.85	0.67	4.09	1.04	0.76	1.47	4.22	1.32
FeO	2.27	2.31	0.76	1.21	2.49	2.80	2.80	2.49	0.35	0.52
MnO	0.05	0.08	0.09	0.09	0.12	0.11	0.15	0.14	0.11	0.03
MgO	0.39	0.56	0.27	0.10	0.52	0.39	0.17	0.22	0.63	0.36
CaO	0.52	0.73	0.58	0.41	0.96	0.64	0.82	0.91	0.17	0.29
Na ₂ O	1.72	2.40	2.65	2.65	1.86	1.55	4.00	3.55	1.16	4.57
K ₂ O	5.70	3.88	3.50	4.90	4.61	5.30	4.22	5.15	3.56	6.74
P ₂ O ₅	0.034	0.034	0.009	0.011	0.011	0.034	0.039	0.039	0.03	0.04
nnn	1.32	1.47	1.36	1.86	1.26	0.60	1.44	0.90	1.84	1.05
SO ₃	0.08	0.02	1.26	1.00	0.27	0.55	0.13	0.06		
Сумма	99.06	99.22	99.22	99.00	100.89	99.29	99.06	99.17	100.32	100.15
Al'	+57.8	+65.8	+34.2	+8.2	+54.0	+66.4	+52.0	+9.6	+160.2	+44.2
al	3.89	3.54	3.81	5.47	1.77	3.05	4.12	3.24	2.74	7.96
φ	22.8	25.0	70.9	35.6	62.1	27.1	21.3	37.1	92.3	71.7
f	88.0	84.3	89.9	94.7	92.2	90.5	95.3	94.5	86.8	82.6
α	0.69	0.63	0.74	0.89	0.64	0.64	0.73	0.84	0.40	0.84
CA	6.5	10.4	8.6	5.2	12.9	8.5	9.1	9.5	3.5	2.5
Na ₂ O/K ₂ O	0.30	0.61	0.76	0.54	0.40	0.29	0.95	0.69	0.32	0.68
Норма (CIPW)										
Q	38.25	41.20	46.60	40.26	40.45	40.63	25.63	26.50	52.10	14.10
Or	33.67	22.93	20.70	28.94	27.21	31.33	24.93	30.44	21.04	39.79
Ab	14.52	20.29	22.39	22.39	15.73	13.11	33.82	30.04	9.80	38.64
An	2.42	3.45	2.78	1.95	4.67	3.00	3.81	4.26	0.67	1.20
C	3.03	3.43	1.77	0.43	2.76	3.45	2.81	0.48	8.21	2.18
En	0.97	1.40	0.67	0.25	1.29	0.97	0.42	0.55	1.57	0.89
Fs	3.24	3.22		1.49	0.62	3.93	4.18	3.06		
Il	0.53	0.59	0.42	0.39	0.88	0.62	0.68	0.62	0.53	0.53
Mt	0.97	1.13	1.8	0.97	5.97	1.53	1.11	2.15	0.30	0.90
Hm			0.60						4.00	0.70
Ap	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03	0.07	0.10	0.10	0.07	0.10

Примечание. 1-6 – риолит, 7-8 – субщелочной риодацит, 9 – риолит из цемента образца КХ-220/555 (рис. 3), 10 – щелочной трахидацит сферолоидов образца КХ-220/555 (рис. 3). Анализы выполнены: 1-8 в ЦХЛ объединения Уралгеология химическим методом, SO₃ не входит в сумму анализа; 9-10 – в ИГиГ УрО РАН на установке VRA-30. K₂O, Na₂O, FeO определены химическим методом.

Al' = Al - (2Ca + Na + K), атомарное количество. al = Al₂O₃ / (FeO + Fe₂O₃ + MgO) в %. φ = Fe₂O₃ / (FeO + Fe₂O₃) в %. f = (FeO + 0.9Fe₂O₃) / (FeO + 0.9Fe₂O₃ + MgO) в %. α = (Na₂O + K₂O) / Al₂O₃, молекулярное количество CA = CaO / (CaO + Na₂O + K₂O) в %.

располагаются в поле щелочных пород, т. е. являются более щелочными по сравнению с субщелочными риодацитами интрузии (рис. 6). Как и риодациты, они относятся к высококалийевому типу пород, характеризуются низкой известковистостью, высокой глиноземистостью, железистостью и высокой степенью окисленности железа. Химический состав сферолоидов, по сравнению с цементирующими их риолитами, характеризуется двукратным увеличением коэффициента апгаитности (табл. 1). При этом коэффициент апгаитности риолитов, цементирующих большие (>50% объема породы) скопления сферолоидов (табл. 1, хим. ан. 9) в 1.5-2 раза ниже коэффициента апгаитности химического состава риолитов, взятых из керна с слабым развитием сферолоидов или с их отсутствием (табл. 1, хим. ан. 1-6). В химическом составе сферолоидов, по сравнению с химическим составом цементирующих риолитов, – установлено снижение SiO_2 , на 6%, Fe_2O_3+FeO на 3%, увеличение Al_2O_3 на 3%, Na_2O на 3%, K_2O на 3%, что говорит о выносе из риолитов в зонах развития сферолоидов калия и натрия. Если на диаграмме K_2O-SiO_2 фигуративная точка химического состава риолитов, цементирующих большое количество сферолоидов (50% и более объема породы), попадает в поле умереннокалиевых пород, то на диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ состав их отвечает составу пород низкокалиевой высокоизвестковистой серии (рис. 6). Во-первых, это не увязывается с низким содержанием в них кальция, во-вторых, существенно отличается их по щелочности от риолитов, не содержащих сферолоиды, химический состав которых

обычно отвечает высококалийевой известково-щелочной серии. Такое снижение щелочности риолитов в местах скопления сферолоидов объясняется удалением из первичного риолитового расплава Na и K в сферолоиды при участии летучих компонентов, и прежде всего фтора, т.е. происходит ликвационное расщепление исходного риолитового расплава на две самостоятельные жидкости в местах скопления летучей фазы в условиях слабо проницаемой закристаллизованной его поверхности. При этом часть щелочных элементов и алюминия в соединении с летучими компонентами, вероятно, привносилась в область ликвации из более глубоких горизонтов интрузии.

Геохимические особенности и условия формирования сферолоидов

В сферолоидах, по сравнению с цементирующими риолитами, установлены пониженные содержания Li, V, повышенные Cr, и, особенно, Sr, близкие содержания Cs, Rb (табл. 2). Отсутствие в цементирующих риолитах Sr (ниже предела обнаружения 3 г/т) объясняется выносом его в сферолоидные обособления. В сферолоидах содержание Sr равно 91 г/т, т.е. близко среднему содержанию для риолитов щелочной трахит-командитовой серии [Петрология ..., 1987]. В сферолоидах, по сравнению с цементирующим риолитом, в два раза снижаются отношения K/Na и в 1.5-2 раза возрастают отношения K/Rb, V/Cr, Rb/Li, Cs/Li. Увеличение содержания Rb и Cs по отношению к Li, вероятно, связано с высокой калиевостью сферолоид-

Таблица 2

Содержание редких элементов (г/т) в щелочных трахидацитах сферолоидов и цементирующих их риолитах Хуторской интрузии из образца скв. КХ-220/555

№ пр.	Rb	Sr	Li	Cs	Cr	V	K, %	Na, %
9	160	н/об.	18	8	70	50	2.955	0.861
10	157	89	11	7	90	30	5.594	3.391

Окончание таблицы 2

№ пр.	K:Na	K:Rb	Cs:Rb	Cr:V	Rb:Li	Cs:Li
9	3.43	184.7	0.050	1.40	8.89	0.44
10	1.65	356.3	0.044	3.00	14.27	0.64

Примечание. 9 – цементирующий риолит, 10 – щелочной трахидацит сферолоидов. Номер соответствует номеру в табл. 1. Анализ Rb, Sr, Cr, V произведен на VRA-30 в ИГиГ УрО РАН, Li и Cs – методом фотометрии пламени в лаборатории Оренбургского геологического управления, г. Оренбург.

дов, так как Rb и Cs в магматическом процессе тесно связаны с калием. Изменение общей щелочности и калиевого в составе сравниваемых сферолоидов и цементирующих риолитов почти не влияет на отношения в них Cs/Rb. Близкие величины отношений Cs/Rb в цементирующих риолитах и сферолоидах можно объяснить односерийностью слагающих их пород, несмотря на разную щелочность, т.е. эти породы принадлежат к единой возрастной серии [Okamoto Kenji et al., 1975]. Вероятно, Cs/Rb отношения в серии генетически связанных пород остаются относительно постоянными как при кристаллизационной, так и при ликвационной дифференциации.

На микроанализаторе JXA-5 в сферолоидах образца КХ-220/555 по трем профилям и в девяти точках определены содержания Ca, Na, K (рис. 7, 8, табл. 3). Во всех профилях изученных сферолоидов содержание калия увеличивается, а натрия уменьшается от центра сферолоида к его краю и резко снижается (до нуля) на границе сферолоида с риолитом, при этом усредненные содержания и кривые распределения кальция от центра к краю изменяются слабо (рис. 8). Резкое снижение калия и натрия в цементирующих риолитах на границе с сферолоидами не находит однозначного объяснения. Мы полагаем, что это снижение связано с миграцией щелочных элементов из риолитов в сферолоиды на стадии ликвации. В то же время нельзя отрицать влияния указанных выше постмагматических процессов (окварцевания и т.д.)

на вынос щелочных элементов из зоны контакта цементирующих риолитов с сферолоидами.

В сферолоидах установлены различные отношения калия и натрия. В профиле I в центре сферолоида отношение Na:K равно 1:1.5. При продвижении к краю сферолоида содержание калия в нем постепенно увеличивается и достигает своего максимума вблизи границы с цементирующим риолитом, натрия, наоборот, уменьшается. Отношение Na:K в краевой части сферолоида по профилю I составляет 1:3.5. Сумма K+Na по профилю I от центра к краю сферолоида возрастает от 9.9% до 12.5% за счет увеличения калия (рис. 8, табл. 3). На основании микроанализа (66 определений), рассчитанное среднее содержание калия по профилю I в сферолоиде – 8.01%, натрия – 3.27%, сумма K+Na – 11.28%.

В отличие от профиля I, по профилю II в сферолоиде натрия преобладает над калием. Отношение Na:K у центра этого сферолоида равно 5.2:1, в краевой его части отношение Na:K равно 1.6:1. Сумма Na+K в сферолоиде от центра к краю по профилю II слабо изменяется и составляет 13.3-13.09%. Рассчитанные на основании данных микроанализа (12 определений) по профилю II в сферолоиде средние содержания калия – 3.79%, натрия – 9.39%, сумма K+Na – 13.18%, т.е. почти на 2% выше, чем в сферолоиде профиля I. В краевой части профиля III (16 определений) отношение Na:K равно 1:9.4, сумма K+Na – 11.60 (табл. 3).

Приведенные данные по распределению K, Na, Ca в сферолоидах по профилям говорят о близком составе сферолоидов по общей щелочности. Все они относятся к калиево-натриевой щелочной трахитовой серии (Na:K=0.41-2.48), что подтверждается химическим анализом среднего состава сферолоидов, где отношение Na:K=0.60 (табл. 1). В то же

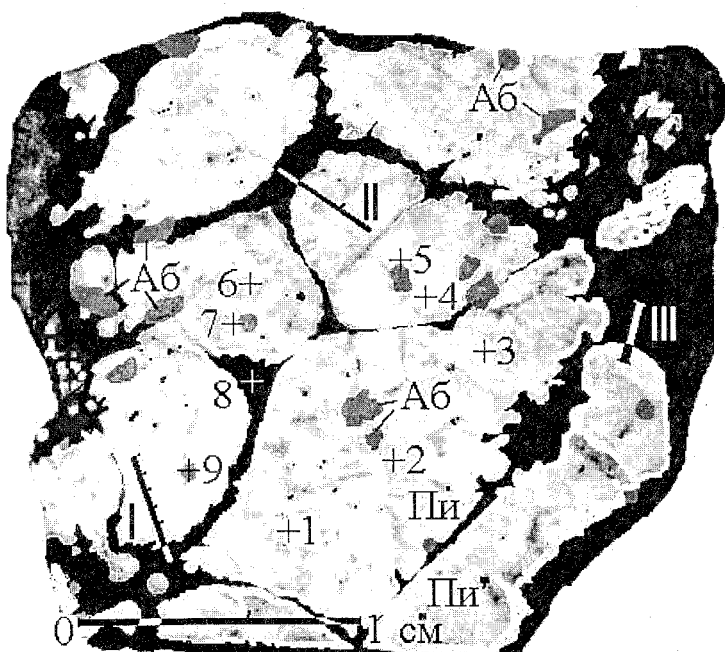


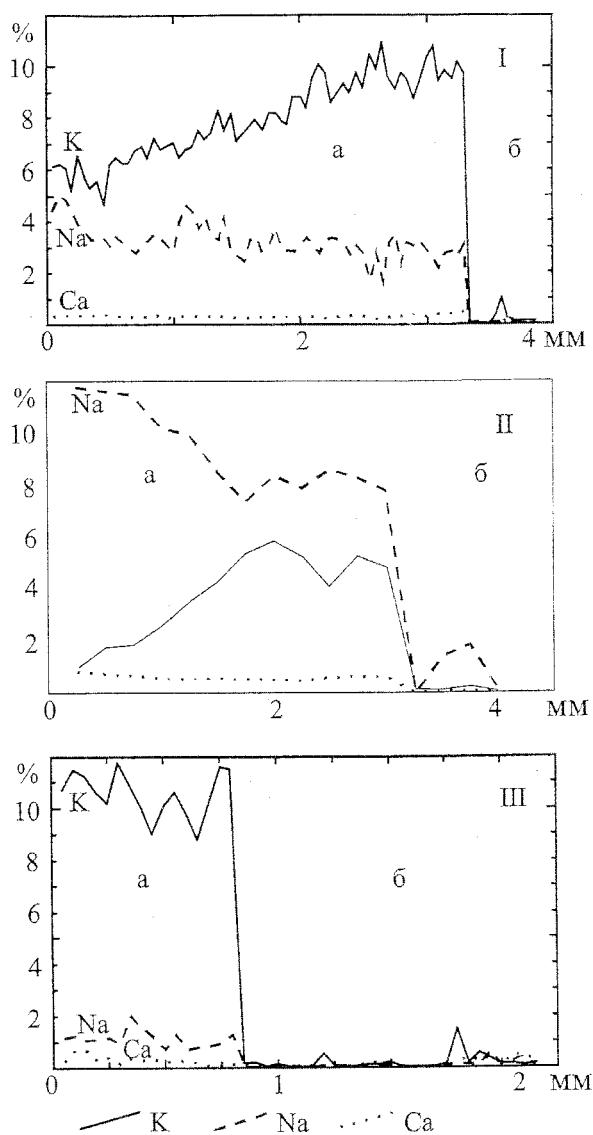
Рис. 7. Полированная поверхность образца керна скв. КХ-220, глубина 555 м.

Сферолоиды (белое) в риолите (черное). А6 – альбит ранней генерации, Пи – пирит. I, II, III – профили и +1-9 – точки микроанализа на Ca, Na, K, Cl.

Рис. 8. Кривые распределения Ca, Na, K в сферолоидах (а) и цементирующих риолитах (б) по профилям I, II, III (см. рис. 7), по данным микроанализа.

время, согласно распределению Na, K по профилям I, II, III, в них отчетливо выделяется два геохимических типа, формирование которых происходило в одних и тех же РТ условиях: в одном существенно преобладает калий над натрием (профиль I, III), в другом – натрий над калием (профиль II). Указанное резкое различие в химическом составе сферолоидов может быть объяснено растянутостью процесса ликвационного расщепления исходного риолитового расплава при формировании сферолоидов. Главной причиной такого расщепления, по-видимому, является постепенное увеличение летучих компонентов, и прежде всего фтора, под слабо проницаемой закристаллизованной поверхностью очередной порции внедренного магматического расплава. Расщепление кислого расплава при высоких температурах в водной среде с участием фтора и других летучих компонентов доказано экспериментальными исследованиями [Анфилогов и др., 1995; Батанова, Халиль, 1988; Глюк, Анфилогов, 1975; Маракушев и др., 1979; Мэннинг, Пишаван, 1984; Wang Liankui et al., 1988 и др.]. Как установлено экспериментальными исследованиями, присутствие фтора в водосодержащем кислом расплаве увеличивает кислотность и снижает температуру солидуса расплава [Глюк, Анфилогов, 1975; Webster et al., 1987; Webster et al., 1998; Wyllie, Tuttle, 1961]. При этом в одних случаях присутствие фтора может раскислять конечные порции расплава, в других – происходит их ощелачивание [Коржинский, 1960; Маракушев и др., 1979].

К первому типу относятся сферолоиды (сферолиты) лейкориолитового, аляскитового состава, сцементированные менее кислыми, по отношению к сферолоидам, породами ряда дацит-риолит [Лебединский, Кэ-Минь, 1958; Наседкин, 1964; Фаворская, 1963; Царев, 1980 и др.]. В сферолоидах данного типа обычно натрий преобладает над калием. В природе этот тип расщепления кислых вулканических пород преобладает. Во втором – сферолоиды (сферолиты) представлены ощелоченными породами ряда дацит-риолит, трахидацит-трахириолит,



трахит-комендит, которые цементируются более кислыми обычно обедненными щелочами дацитами – риолитами [Воловикова, 1955; Джрбашян, 1961 и др.]. Изученное в Зауралье явление ликвации относится ко второму типу. Развитие этих двух типов связывается с изменением кислотности-основности исходного расплава, что может быть объяснено изменением состава летучих компонентов в расплаве и, прежде всего, с увеличением содержаний фтора. При небольшом содержании фтора в расплаве эвтектика в системе $H_2O - MeO - SiO_2$ смещается в сторону SiO_2 , т.е. происходит обогащение расплава кварцем [Коржинский, 1959, 1960], что может привести к образованию сферолоидов первого типа. Второй тип расщепления кислых вулканических расплавов происходит при дальнейшем повышении содержания фтора (особенно в условиях закрытой си-

Усредненные результаты микроанализа К, Na, Ca, Cl (мас.%) сферолоидов и риолитов образца КХ-220/555

№ профиля	№ усредненного результата	n	К	Na	Ca	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Or	Ab	An	Cl
I	1	13	5.98	3.93	0.35	7.20	5.30	0.49	46.0	51.4	2.6	0.08
	2	10	6.80	3.48	0.32	8.19	4.69	0.45	52.2	45.4	2.4	0.07
	3	15	7.73	3.31	0.29	9.31	4.46	0.41	56.7	41.3	2.0	0.06
	4	12	9.18	3.05	0.30	11.06	4.11	0.42	62.6	35.4	2.0	0.07
	5	16	9.82	2.73	0.35	11.83	3.68	0.49	66.4	31.4	2.2	0.07
	6	11	0.17	0.03	0.05							0.02
II	1	5	2.13	11.17	0.66	2.57	15.05	0.92	9.8	87.3	2.9	0.13
	2	7	4.97	8.12	0.52	5.99	10.94	0.73	25.8	71.6	2.6	0.07
	3	4	0.12	0.03	0.03	0.14	0.04	0.04				0.01
III	1	16	10.49	1.11	0.27	12.64	1.50	0.38	83.0	14.9	2.1	
	2	27	0.23	0.08	0.10	0.28	0.11	0.14				
№ точки микроанализа	1	4	4.84	5.16	0.56	5.83	6.95	0.78	34.2	62.0	3.8	0.08
	2	3	2.67	11.50	0.43	3.22	15.50	0.60	11.8	86.4	1.8	
	3	8	4.07	8.82	0.54	4.90	11.89	0.76	20.8	76.6	2.6	0.10
	4	1	10.74	2.80	0.18	12.94	3.77	0.25	68.5	30.4	1.1	0.06
	5	1	0.14	13.37	0.40	0.17	18.02	0.56	0.6	97.7	1.7	
	6	2	5.24	7.99	0.49	6.31	10.77	0.69	27.2	70.4	2.4	
	7	2	2.23	11.34	0.63	2.69	15.28	0.88	10.1	87.2	2.7	
	8	3	0.06	0.01	0							
	9	1	0.06	10.77	0.11	0.07	14.51	0.15	0.3	99.1	0.6	

Примечание. Номер профиля и точки микроанализа см. рис. 7, 8. n – количество замеров усредненного результата по профилю и произведенных замеров в точке. Микроанализ выполнен на установке JXA-5 в лаборатории микроанализа ИГиГ УрО РАН. Чувствительность Ca=0.01%, Na=0.1%, K=0.1%, Cl=0.01%. Профиль I: 1-5 – сферолоид, 6 – зона обеднения риолитов К, Na, Ca. Профиль II: 1, 2 – сферолоид, 3 – зона обеднения риолитов К, Na, Ca. Профиль III: 1 – сферолоид, 2 – зона обеднения риолитов К, Na, Ca. Точки микроанализа: 1, 2, 3, 4, 6, 7 – сферолоид, 8 – зона обеднения риолитов К, Na, Ca, 5, 9 – альбит. В таблице полученные результаты Ca, Na, K пересчитаны в оксиды и на норму CIPW.

стемы), что вызывает снижение в расплаве содержания кварца и повышает содержание полевых шпатов, соответственно сдвигая гранитную эвтектику от преобладания кварца в область полевого шпата – обычно альбита [Зарайский и др., 2000; Коржинский, 1977; Мэннинг, Пишаван, 1984]. Фтор при этом в кислых расплавах при комплексобразовании предпочтительнее входит в соединения с натрием, чем с калием [Когарко и др., 1968; Xiao et al.; 1998]. Однако в природных риолитах установлены существенно натриевые [Фаворская, Джрбашян, 1963] калиево-натриевые [Джрбашян, 1961] и существенно калиевые [Воловикова, 1955] сферолоиды. Это подтверждается и нашими исследованиями. Причина такого разнообразного состава сферолоидов может быть объяснена с позиций эксперименталь-

но изученных лейкократовых кварц-полевошпатовых систем постепенным увеличением содержания фтора и калия в исходном расплаве [Маракушев и др., 1979]. Согласно данным экспериментальных исследований, с увеличением фтора и калия в исходном расплаве, – при его расщеплении на две фазы, в одной из них отчетливо возрастает содержание калия. Это значит, что на исходный расплав сферолоидов, наряду с фтором, существенное влияние оказывает калиево-натриевость флюида [Зырянов, Перчук, 1978] и изменение соотношений в расплаве калия и натрия [Коржинский, 1959].

Установленное в изученных сферолоидах закономерное увеличение содержания K₂O и снижение Na₂O от их центра к краю невозможно объяснить вторичным перераспределением или

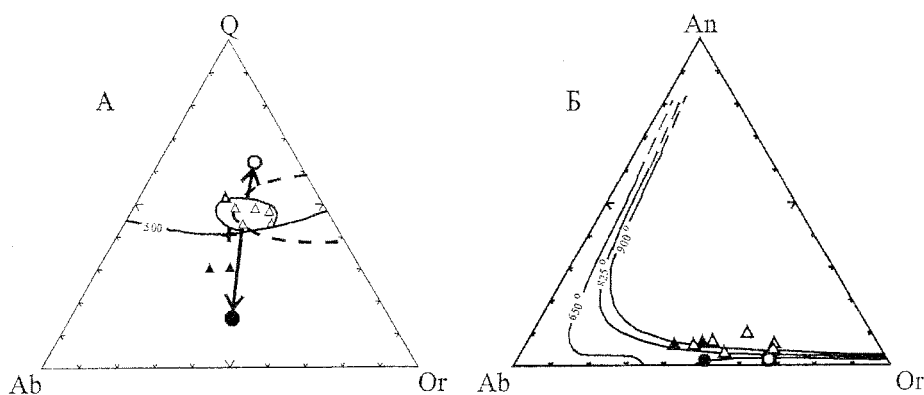


Рис. 9. Диаграммы $Ab - Q - Or$ и $Ab - An - Or$ нормативных составов исходных риолитов и соотношение их с риолитами и щелочными трахидацитами образованными в результате ликвации.

А. Относительно котектической линии при $P_{H_2O} = 0,5$ кбар [Tuttle, Bowen, 1958] и возможного контура расслоения при $T = 1000^\circ C$, атмосферном давлении и 17% K_2SiF_6 [Маракушев и др., 1979].

Б. Относительно котектических линий при $T = 650, 825^\circ C$, $P_{H_2O} = 1$ кбар и при $T = 900^\circ C$, $P_{H_2O} = 0.5$ кбар [Seck, 1971a, б]. Условные обозначения те же, что на рис. 6.

кристаллизацией остаточного солевого раствора [Мелентьев, Делицин, 1969], так как сферолоиды представлены изотропным стеклом, что позволяет говорить о первично-магматическом распределении в сферолоидах натрия и калия. Скорее всего это связано с различным влиянием летучих компонентов, и прежде всего фтора, на распределение натрия и калия в расплаве сферолоидов [Глюк, Анфилогов, 1975].

Нанесенные на диаграммы $Ab - Q - Or$ и $Ab - An - Or$ нормативные составы кислых вулканических пород скважины КХ-220, щелочных трахидацитов сферолоидов и цементирующих их риолитов, в сравнении с котектическими линиями экспериментально изученных гранитных систем [Seck, 1971a, 1971б; Tuttle, Bowen, 1958], также позволяют сделать вывод о проявлении в риолитах Хуторской интрузии процессов ликвационной дифференциации (рис. 9 А, Б). Согласно диаграмме $Ab - Q - Or$, расщепление кислого расплава произошло по риолит-трахитовому типу [Маракушев и др., 1979]. Состав риолитов и риодацитов, не содержащих сферолоиды, на диаграмме $Ab - An - Or$ отвечает котектическим линиям при $T = 825^\circ C$, $P_{H_2O} = 1$ кбар и $T = 900^\circ C$, $P_{H_2O} = 0.5$ кбар. Состав щелочных трахидацитов сферолоидов и цементирующих их риолитов, затвердевавших при повышенном содержании фтора, о чем говорит вкрапленность флюорита, отвечает котектической линии при $T = 650^\circ C$, $P_{H_2O} = 1$ кбар, что хорошо согласуется со снижением температуры кристаллиза-

ции расплава в экспериментально изученных гранитных системах при участии фтора [Wyllie, Tuttle, 1961 и др.].

Выводы

В пермских риолитах Хуторской субвулканической интрузии установлено многоэтапное проявление ликвационной дифференциации в виде повторяющихся слоев мощностью 1.7-13.5 м, содержащих белые шаровые выделения диаметром до 2 см. По составу шаровые выделения относятся к щелочным трахидацитам, представленным существенно натриевым и существенно калиевым типами. Решающее влияние на расщепление риолитового расплава оказывало высокое содержание фтора. Ликвационная дифференциация происходила по риолит-трахитовому типу. Установленная направленность развития ликвационной дифференциации соответствует ликвации расплавов экспериментально изученных лейкократовых кварц-полевошпатовых систем.

Проведенные исследования позволяют указать основные признаки ликвационного происхождения сферолоидов в риолитах Хуторской субвулканической интрузии Курганского Зауралья: 1) округло-капельное строение сферолоидов, местами сгруппированных в слои; 2) расположение сферолоидов и их слоев согласно с флюидальностью и полосчатостью вмещающих риолитов, т.е. согласно с течением магмы; 3) рез-

кие границы сферолоидов с цементирующими риолитами; 4) резкое различие химического состава сферолоидов и цементирующих риолитов; 5) наличие в сферолоидах микролитов альбита, согласное расположение микролитов альбита вдоль границ в сферолоидах и окаймление микролитами захваченных сферолоидами вкрапленников альбита ранней генерации подтверждают кристаллизацию микролитов из обособленного капельно-жидкого расплава, микролиты альбита в цементирующих сферолоидах риолитах отсутствуют; 6) сферолоиды состоят из аморфного, изотропного стекла, в то время как вмещающие риолиты обычно имеют фельзитовую структуру, изотропное строение сферолоидов говорит о быстром затвердевании их магматического расплава; 7) обогащенность натрием и калием стекла сферолоидов и обедненность этими элементами цементирующих риолитов в местах скопления сферолоидов подтверждает проявление ликвационной дифференциации; 8) развитие слоев сферолоидов в зонах автобрекчий и вкрапленности в них флюорита, говорит о расщеплении исходного риолитового расплава при участии фтора на две контрастные жидкости под застывшей поверхностью риолитовой магмы; 9) захват сферолоидами развитых в риолитах вкрапленников кислого плагиоклаза, свидетельствует о начале процессов ликвации после начала кристаллизации в риолитах полевого шпата.

Список литературы

Анфилогов В.Н. Природа и петрографические критерии ликвации магматических расплавов // Геохимия. 1975. № 7. С. 1035-1042.

Анфилогов В.Н., Волков А.Ю., Быков В.Н., Эрлих Э.Н. Ликвация в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ // Урал. минерал. сб. 1995. № 5. С. 270-278.

Батанова А.М., Халиль М.М. Экспериментальное изучение условий образования редкометалльных гранитов Египта // Вестник МГУ. Геол. 1988. № 3. С. 79-89.

Белянкин Д.С. О сферолитах в техническом стекле и некоторых шаровых образованиях в магматических горных породах // Тр. Петрогр. ин-та АН СССР. 1933. Вып. 4. С. 15-19.

Белянкин Д.С. Магматическая ликвация. Можно ли верить в нее и какие мы имеем к тому основания? // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. № 5. С. 35-39.

Богатиков О.А., Косарева Л.В., Шарков Е.В. Средние химические составы магматических горных пород. М.: Недра, 1987. 153 с.

Бурьянова И.З., Фаворская М.А. О происхождении шаровых лав Южного Сихотэ-Алиня // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 12. С. 3-12.

Воловикова И.М. Сферолитовые образования в верхнепалеозойских эффузивных породах Чаткальского хребта // Тр. ИГиН АН СССР. Вып. 159. 1955. С. 3-12.

Воловикова И.М., Елисеева О.П. К вопросу об образовании шаровых лав в кислых эффузивах Кураминского хребта (Средняя Азия) // Вопросы вулканизма. М.: Изд. АН СССР, 1962. С. 239-243.

Глюк Д.С., Анфилогов В.Н. Особенности фазовых отношений в кислых силикатных системах с фтором и водой // Гранитообразование и летучие. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 38-46.

Говорова А.В. Петрологические аспекты формирования шаровидных обособлений в вулканогенных породах Урала // Вопросы петрологии и металлогении Урала. Тезисы докл. IV Урал. петр. конф. Свердловск. 1981. С. 120.

Джрбабян Р.Т. Сферолитовые лавы окрестностей села Гамзачиман // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 11. С. 105-110.

Заварицкий А.Н., Соболев В.С. Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 383 с.

Зарайский Г.П., Аксюк А.М., Зельтманн Р., Федькин А.В. Эволюция редкометалльных гранитов и величина отношений Zr/Hf как показатель их кристаллизационной дифференциации // Петрогр. на рубеже XXI века. Второе Всерос. петрогр. совещ. Т. 3. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2000. С. 47-50.

Зырянов В.Н., Перчук Л.Л. Природа натровых и калиевых магм с избытком кремнезема // Докл. АН СССР. 1978. Т. 242. № 1. С. 187-190.

Классификация и номенклатура магматических горных пород / Под ред. Богатикова О. А. М.: Недра, 1981. 159 с.

Козарко Л.Н., Кригман Л.Д., Шарудило Н.С. Экспериментальные исследования влияния щелочных силикатных расплавов на отделение фтора в газовую фазу // Геохимия. 1968. № 8. С. 948-956.

Коржинский Д.С. Кислотно-основное взаимодействие компонентов в силикатных расплавах и направление котектических линий // Докл. АН СССР. 1959. Т. 128. № 2. С. 383-386.

Коржинский Д.С. Кислотность-щелочность как главнейший фактор магматических и послемагматических процессов // Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 21-31.

Коржинский Д.С. Проблемы физико-химической теории петрологических процессов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 1. С. 10-25.

Коржинский Д.С. Взаимодействие магм с трансмагматическими флюидами // Зап. ВМО. 1977. Вып. 2. Ч. 106. С. 173-178.

- Короновский Н.В., Быков М.В., Сапарин Г.В., Слеув В.И.* Микроликвация в кислых вулканических породах // Докл. АН СССР. 1976. Т. 230. № 1. С. 190-193.
- Лебединский В.И., Мо Кэ-Минь.* О явлениях ликвации в лавах калганского комплекса (КНР) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1958. № 12. С. 64-72.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю.* Сферолитовые породы Мугоджар // Тр. СПб. об-ва естествоиспытателей, 1905. 33. Вып. 5.
- Маракушев А.А., Иванов И.П., Римкевич В.С.* Значение ликвации в генезисе магматических горных пород // Вестник МГУ. Геология. 1979. № 1. С. 3-22.
- Мелентьев Б.Н., Делицин Л.М.* Проблемы ликвации в магне // Докл. АН СССР. 1969. Т. 186. № 1. С. 191-193.
- Мэннинг Д., Пишаван М.* Экспериментальные исследования роли фтора и бора в образовании поздних гранитоидных пород и связанного с ними оруденения // 27 МГК. Докл. Т. 9. Секция С.09. Петрология. М., 1984. С. 166-174.
- Наседкин В.В.* Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменения. М.: Изд. АН СССР, 1963. 210 с.
- Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. 336 с.
- Пумпянский А.М.* Триас Тоболо-Ишимского междуречья юга Западно-Сибирской плиты // Новые данные по геологии Урала, Западной Сибири и Казахстана. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 159-165.
- Пумпянский А.М., Самаркин Г.И.* Субсеквентный магматизм юго-западной части фундамента Западно-Сибирской плиты // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. VIII конф. Тюмен. отд. ВМО. Т. 2. Тюмень, 1991. С. 59-61.
- Пумпянский А.М., Самаркин Г.И.* Проблема становления посторогенных вулканических и плутонических серий восточного Зауралья // Топорковские чтения. Вып. 3. Рудный: АО «Кустанайский печатный двор», 1997. С. 23-28.
- Реддер Э.* Ликвация силикатных магм // Эволюция изверженных пород. М.: Мир, 1983. С. 24-66.
- Руб М.Г.* Флюоритсодержащие шаровые лавы как показатели богатства магмы летучими // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1969. № 1. С. 49-57.
- Самаркин Г.И., Чувашов Б.И.* О завершенности позднегерцинского тектоно-магматического этапа на Урале // Докл. АН СССР. 1978. Т. 239. № 4. С. 934-937.
- Устиев Е.К.* Геологические и петрологические аспекты проблемы вулкано-плутонических формаций // Материалы симпозиума по вулкано-плутоническим формациям и их рудоносности. Алма-Ата: Наука, 1966. С. 5-10.
- Фаворская М.А.* Шаровые лавы бассейна р. Малазы (Приморский край) // Петрографические критерии ликвации в кислых лавах. М.: Изд. АН СССР, 1963. С. 68-85.
- Фромберг Э.Д.* Хайдунский тип порфировых интрузий на рудном Алтае // Изв. ВУЗов, Геол. и разведка. 1976. № 5. С. 53-60.
- Харланд У.Б., Кокс А.В., Ллеваелин П.Г. и др.* Шкала геологического времени. М.: Мир, 1985. 140 с.
- Царев Д.И.* Магматические и метасоматические процессы в формировании игнимбритов. Новосибирск: Наука, 1980. 89 с.
- Okamoto Kenji, Nohda Susumu, Masuda Yasuyuka, Matsumoto Takashi.* Significance of Cs/Rb ratios in volcanic rocks as exemplified by the Nohi rhyolite complex, Central Japan // *Geochem J.* 1975. V. 9. № 4. P. 201-210.
- Seck H.A.* Der Enflub des Druks auf die Zusammensetzung koexistieren der Alkalifeldspate und Plagioklase im System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - H_2O // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1971a. V. 31. № 1. P. 67-86.
- Seck H.A.* Koexistierende Alkalifeldspate und Plagioklase im System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - H_2O bei Temperaturen von 650°C bis 900°C // *Neues Jb. Mineral. Abh.* 1971b. Bd. 115. № 3. S. 315-345.
- Tuttle O.F., Bowen N.L.* Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O // *Geol. Soc. Amer. Mem.* 1958. № 74. 153 p.
- Wang Liankui, Lu Jialan, Zhang Shaoli, Yang Wenjin, Xu Wenxin.* An experimental study on liquid segregation of Nanling granites // *Чжунго кэсюэ=Sci. sin. B.* 1988. 31. № 9. P. 1122-1131.
- Webster J.D., Holloway J.R., Hervig R.L.* Phase equilibria of a Be, U and F-enriched vitrophyre from Spor Mountain, Utah // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1987. 51. № 3. P. 389-402.
- Webster J.D., Thomas R., Veksler I. et al.* Late stage processes in P or F-rich granite magmas // *Acta Univ. Carol. Geol.* 1998. 42. № 1. P. 181-188.
- Wyllie P.I., Tuttle O.F.* Experimental investigation of silicate systems containing two volatile components. II. The effects of NH_3 and HF, in addition to H_2O on the melting temperatures of albite and granite // *Amer. J. Sci.* 1961. 259. № 2. P. 128-143.
- Xiao X., Zhao Zh., Zhu J. et al.* Phase equilibria in the granite- H_2O -HF system and effects of fluorine on granitic melt structure // *Chin. J. Geochem.* 1998. 17. № 3. P. 114-122.

Рецензент доктор геол.-мин. наук И.Б. Серавкин