

Российская Академия Наук  
Сибирское отделение  
Иркутский Научный Центр  
Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Российский Фонд Фундаментальных Исследований

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИИ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Материалы Всероссийской научной конференции  
(с участием иностранных ученых),

*посвященной 50-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН  
и памяти академика Л.Б. Таусона в связи с 99-летием со дня рождения*

*24-30 сентября 2007 г.*

*г. Иркутск*

### ТОМ 2

- ГЕОХИМИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ, МЕТАМОРФИЧЕСКИХ И  
МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Иркутск  
2007

УДК 550.4: 550.4:551.2

Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых). - Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2007. - В 3-х томах. - Т. 2. - 284 с.

В книгах представлены труды Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и памяти основателя Института академика Льва Владимировича Таусона в связи с 90-летием со дня рождения. Организаторами конференции являются Сибирское отделение Российской Академии Наук, Иркутский Научный Центр и Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. В работах участников конференции представлены результаты исследований по приоритетным направлениям научных исследований РАН, СО РАН в области Наук о Земле, инициативным проектам Российского Фонда Фундаментальных Исследований, других российских и международных научных фондов, Федеральным Целевым Программам, Ведущим Научным Школам, Интеграционным проектам РАН и СО РАН. В трудах конференции нашли отражение итоги новейших геохимических исследований ученых из ряда стран СНГ.

Содержание 3 томов материалов соответствует тематике научных сессий конференции:

Том 1.

- Геохимия в приложении к современным проблемам геодинамики и глобальной эволюции вещества.
- Геохимические исследования окружающей среды и палеоклиматических изменений.

Том 2.

- Геохимия магматических, метаморфических и метасоматических процессов.

Том 3.

- Геохимия рудно-магматических систем и геохимические методы поисков.
- Экспериментальное и физико-химическое моделирование геохимических и технологических процессов.
- Современные методы аналитических исследований в геохимии.

Председатель Оргкомитета конференции:  
*академик РАН Михаил Иванович Кузьмин*

Ученые секретари конференции:  
*к.г.-м.н. Перепелов Александр Борисович,*  
*к.г.-м.н. Дриль Сергей Игоревич*

Ответственный редактор материалов конференции:  
*д.г.-м.н. Медведев Александр Яковлевич*

Проведение конференции и издание материалов конференции поддержано РФФИ  
(грант № 07-05-06076-г)

*Утверждено к печати Ученым советом Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (протокол № от 10.09.2007 г.).*

ISBN (Том 2)

ISBN

© Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2007

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ  
КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ КАМЧАТКИ

Попов В.К.<sup>1</sup>, Гребенников А.В.<sup>1</sup>, Перепелов А.Б.<sup>2</sup>, Кузьмин Я.В.<sup>3</sup>, Гласкок М.Д.<sup>4</sup>,  
Спикман Р.Дж.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: [vladpov@fegi.ru](mailto:vladpov@fegi.ru).

<sup>2</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, e-mail: [region@igs.irk.ru](mailto:region@igs.irk.ru)

<sup>3</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. Владивосток, e-mail: [ykuzmin@ig.dvo.ru](mailto:ykuzmin@ig.dvo.ru)

<sup>4</sup>Исследовательский реакторный центр Университета Миссури,  
Колумбия (США), e-mail: [GlascockM@missouri.edu](mailto:GlascockM@missouri.edu)

Изучение геохимического состава магматических пород в начале 1960-х гг. наиболее активно развивалось в Институте геохимии им. академика А.П. Виноградова. Ведущая роль в этом принадлежала академику Л.В. Таусону, который впервые выделил геохимические типы гранитоидов и показал, что геохимические особенности этих пород определяются в первую очередь их генезисом [Таусон, 1977]. Это направление получило дальнейшее развитие в работах его учеников и последователей - М.И. Кузьмина, В.С. Антипина, В.И. Коваленко, В.Д. Козлова и др. В связи с появлением гипотезы тектоники плит в 1970-е гг. было предпринято интенсивное изучение геохимии вулканических пород океанических и континентальных рифтовых зон, островных дуг и активных континентальных окраин, отражающих различные геодинамические обстановки проявления современного вулканизма. Значительное внимание уделялось изучению геохимии вулканических пород Курило -Камчатской островной дуги [Кузьмин, Пополитов, 1978; Пополитов, Волюнец, 1981 и др.]. Основная часть петролого-геохимических исследований была сосредоточена на Камчатке. В первую очередь

рассматривались вопросы геохимической типизация базальтов и андезитов, как наиболее информативных пород для выявления геодинамических обстановок проявления мантийного вулканизма островных дуг [Волынец и др., 1987а,б; Чурикова и др., 2001 и др.]. Геохимическое изучение кислых вулканитов было связано с разработкой проблемы генезиса островодужных кислых магм [Пополитов, Волынец, 1977, 1982; Пампура и др., 1979 и др.].

Впервые Норманн Л. Боуэн подчеркнул важное значение составов стекловатых пород для разработки механизма зарождения и эволюции магматических расплавов. Вулканические стекла более всего отвечают первоначальному составу "замороженной" изверженной магмы. Позднее это неоднократно подчеркивалось в работах других крупнейших петрологов со смещением акцентов на необходимость использования обсидианов [Кармайл, 1983]. На территории Камчатки вулканические стекла (обсидианы и перлиты) имеют широкое распространение и связаны с дацит-риолитовыми вулканическими комплексам неоген-четвертичного возраста [Шевчук, 1981].

В настоящем сообщении приводятся результаты геохимического изучения кислых вулканических стекол (обсидианов, редко перлитов), проявленных в вулканических зонах Восточной и Южной Камчатки. Срединного хребта, а также обсидиановых артефактов из археологических памятников Камчатского полуострова. Аналитические исследования образцов были проведены в исследовательском реакторном центре Университета Миссури, г. Колумбия (США) (нейтронно-активационный и рентгено-флуоресцентный анализы). Легальное описание методики анализов и статистической обработки геохимических данных приведено в [Glaskock et al., 1998]. Статистический анализ двухкомпонентных диаграмм позволил выделить группы обсидиана, различающиеся по микроэлементному составу и ограниченные эллипсами с 95 % уровнем вероятности объединения образцов в каждую из групп. Выделение геохимических групп проводилось с целью типизации вулканических стекол и выявления коренных источников археологического обсидиана [Попов и др., 2005; Speakman et al., 2006]. В настоящее время установлено шесть источников археологического обсидиана в Срединном хребте (проявления Паялпанской группы Ичинского вулканического центра, вулкан Обсидиановый в верховьях р. Иткаваям), Восточно-Камчатской вулканической зоне (вулкан Однобокий Карымского вулканического центра) и в западной части вулканической зоны Южной Камчатки (маар Чаша и Начикинский экструзив вулкана Шапочка) [Попов и др., 2005; Glaskock et al., 2006]. Для пяти геохимических групп обсидианов коренные проявления еще не выявлены. Полученные данные геохимического состава обсидианов из археологических памятников позволили статистически обосновать характеристику выделенных геохимических типов вулканических стекол из коренных проявлений и провести их корреляцию с кислыми породами различных вулканических зон Камчатки.

По химическому<sup>7</sup> составу кислые вулканические стекла относятся к умеренно- и высокоглиноземистым риодацитам и риолитам известково-щелочного и субщелочного типов, и характеризуются переменными величинами отношения K/Na. Содержание SiO<sub>2</sub> в породах варьирует от 72,65 до 75,84 мас.%. Они различаются по содержанию крупноионных литофильных (Rb, Ba, Sr), высококозарядных (Y, Ta, Zr, Hf, Nb, Th и др.) и редкоземельных элементов, а также величинами отношений K/Na, Rb/Sr, La/Yb, Nb/Zr (табл. 1). Так, на диаграмме Hf-Rb-Ta точки состава кислых вулканических стекол Срединного хребта, Восточной. Южной Камчатки обособлены в виде отдельных не перекрывающих друг друга полей (рис. 1). Характер распределения редкоземельных элементов в стеклах, нормированных по примитивной мантии, свидетельствует об обеднении всех групп тяжелыми редкоземельными элементами относительно легких с крутым наклоном линий от La к Eu и пологой с небольшим возрастанием от Eu к Lu. Для

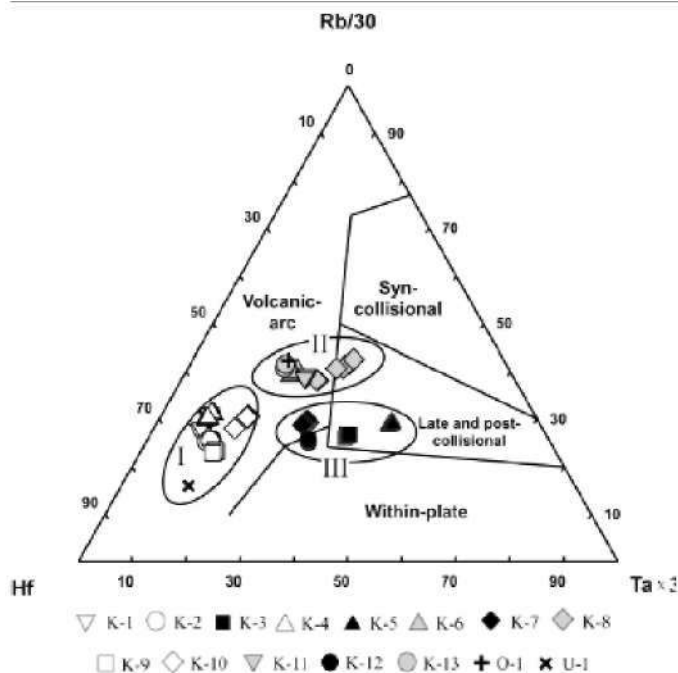


Рис. 1. Диаграмма Rb-Hf-Ta для кислых вулканических стекол Камчатки.

Поля на диаграмме по (Harris et al., 1986): *Volcanic-arc* - граниты вулканических дуг; *Syn-collisional* - синколлизионные граниты; *Late and post-collisional* - постколлизионные граниты, *Within-plate* - внутриплитные граниты. Полями ограничены обсидианы вулканических зон Восточной Камчатки (I), Южной Камчатки (II) и Срединного хребта (III). Микроэлементный состав и обозначения геохимических групп приведены в табл. I.

пород свойственен отчетливый европневый минимум (за исключением обсидианов вулкана Хангар, одного из проявлений Паялпанской группы и маара Чаша). На бивариантных диаграммах Nb-Y, Ta-Yb, Rb-(Y+Nb) и Rb-(Yb-Ta) Дж. Пирса точки состава вулканических стекол попадают в поле гранитоидов вулканических дуг. Исключение составляют обсидианы из археологических памятников (группа K-2, табл. 1), которые отвечают составу внутриплитных гранитов. Для них характерны высокие концентрации калия, высокозарядных и редкоземельных элементов, но низкие значения отношений Nb/Zr (табл. 1). Вулканические стекла этой группы попадают в поле пород Восточной вулканической зоны (рис. 1). Местонахождение источника обсидианов этой группы пока неизвестно. Вулканические стекла вулканической зоны Восточной Камчатки (кальдера Узон, вулкан Однобокий в Карымском вулканическом центре) характеризуются минимальными значениями Nb/Zr, возрастающими в обсидианах западной части вулканической зоны Южной (вулканы Шапочка, Опала, маар Чаша, г. Ягодная) и Срединном хребте (Паялпанская группа проявлений обсидиана, вулкан Хангар, вулкан Обсидиановый) (табл. 1). Полученные значения вариаций микроэлементного состава вулканических стекол отражают установленную ранее [Пополитов, Волюнец, 1981; Волюнец и др., 1987а, 1987б; Чурикова и др., 2001; Ishikawa et al., 2001] геохимическую зональность вкострости простирающейся Камчатской островной вулканической дуги. Природа такой пространственно-временной зональности связывается авторами со скачкообразным отступлением в конце неогена зоны субдукции к востоку и проявлением в западной части Срединного хребта процессов рифтогенеза и щелочного вулканизма внутриплитного геохимического типа.

В заключение отметим, что рассмотренные особенности геохимического состава кислых вулканических стекол подтверждают существование поперечной геохимической зональности и выявленное работами [Пополитов, Волюнец, 1981; Волюнец и др., 1987б и др.] унаследование геохимических особенностей риолитов от связанных с ними структурно и генетически базальтов в неоген-четвертичных сериях вулканических зон Камчатки.

Таблица 1. Содержание микроэлементов в основных геохимических типах кислых вулканических стекол Камчатки, г/т.

Вулк. зона	Восточная Камчатка				?	Южная Камчатка				Срединный хребет					
	Узлов	КВЦ	Артеф.	Артеф.		Артеф.	ЯГЭ	НАЧ	Чаша	Опала	Артеф.	Артеф.	ИПК	ИЧП	ИЧБ
Объект	1	5	11(98)	8(21)	7(14)	8(38)	2	8(17)	5(5)	1	7(12)	7(25)	8(19)	13(15)	2
Кол-во обр.	3,36	3,34	3,09*	2,95*	2,94*	3,25*	2,97	3,08*	2,95*	3,00	3,02*	3,22*	2,83*	3,20*	3,64
Na (мас. %)	2,30	2,95	2,59*	2,78*	3,12*	4,01*	3,40	3,80*	3,03*	3,22	3,17*	3,27*	3,91*	3,26*	2,83
K (мас. %)	390	751	335*	355*	245	603*	332	393*	339*	505	45*	121*	218*	225*	362
Co	1,54	0,65	1,29	1,03	0,53	0,59	0,20	0,22	0,27	0,34	0,91	0,35	0,15	0,96	0,23
Zn	70	37	35	35	37	65	34	32	32	30	42	34	24	34	45
Sc	11,63	3,05	3,03	3,26	2,14	7,48	2,38	2,02	1,52	2,16	3,25	1,99	1,72	1,81	1,55
Sb	0,43	0,41	1,28	1,73	0,44	1,01	0,70	0,50	0,35	0,26	0,24	0,40	0,41	0,12	0,24
Cs	2,06	1,75	3,54	4,40	1,71	4,74	5,67	4,58	2,64	4,30	10,37	3,24	2,26	1,25	1,69
Rb	47	51	60	67	62	105	127	100	76	97	114	74	92	70	71
Ba	858	645	798*	882*	1396*	968*	639	682*	1017*	896	575*	874*	264*	1080*	767
Sr	197	142	205	157	288	84	38	77	188	137	155	114	54	371	205
La	15,85	15,38	11,57	12,85	17,84	27,05	23,33	22,81	18,09	19,10	15,91	16,44	24,35	18,52	20,58
Ce	38,21	35,18	23,57	26,86	36,58	61,60	48,73	45,44	33,49	37,43	33,87	33,61	44,39	33,74	41,06
Nd	22,02	17,24	9,56	11,61	14,75	30,89	20,45	17,84	11,94	15,26	13,76	12,35	14,09	12,19	17,14
Sm	6,09	3,77	2,25	2,78	2,94	7,50	3,82	3,56	2,19	2,83	3,23	2,70	2,48	2,12	3,01
Eu	1,34	0,59	0,48	0,49	0,62	1,01	0,46	0,50	0,46	0,50	0,50	0,44	0,30	0,51	0,66
Tb	1,14	0,60	0,31	0,39	0,37	1,22	0,46	0,39	0,26	0,34	0,45	0,37	0,29	0,22	0,36
Dy	5,66	4,06	1,94*	2,58*	2,23	7,77*	2,83	2,21*	1,68*	1,93	2,58*	2,24*	1,69*	1,17*	1,78
Yb	5,02	2,89	1,78	2,11	1,69	5,18	2,37	1,85	1,26	1,83	1,52	1,73	1,35	1,08	1,77
Lu	0,76	0,44	0,29	0,34	0,28	0,78	0,36	0,29	0,20	0,29	0,27	0,31	0,27	0,18	0,27
Ta	0,41	0,34	0,20	0,22	0,37	0,53	0,61	0,56	0,49	0,45	0,87	1,14	1,55	0,73	0,93
Y	—	32,34	18,69	25,67	18,72	64,96	22,55	17,05	14,09	—	20,96	20,00	12,11	11,90	16,48
Zr	227	155	131	145	136	282	141	114	89	103	104	125	96	133	151
Nb	—	4,48	2,40	2,72	5,00	9,35	8,45	8,15	5,45	—	7,59	16,48	14,91	9,13	13,60
Hf	7,09	4,64	4,07	4,41	3,71	8,66	4,24	3,92	2,49	3,05	2,99	3,44	2,94	3,42	4,19
Th	2,95	3,47	3,98	4,71	3,92	7,43	8,97	7,14	5,53	6,74	5,73	7,61	9,27	4,60	4,69
U	1,53	2,02	1,50	1,72	2,04	2,95	3,40	2,76	2,40	2,73	2,99	4,20	4,53	2,53	2,95
K/Na	0,68	0,88	0,84	0,94	1,06	1,23	1,15	1,23	1,03	1,07	1,05	1,01	1,38	1,02	0,78
Rb/Sr	0,24	0,36	0,29	0,43	0,21	1,25	3,34	1,30	0,40	0,71	0,73	0,65	1,70	0,19	0,35
La/Yb	3,2	5,3	6,5	6,1	10,6	5,2	9,8	12,4	14,4	10,4	10,5	9,5	18,0	17,1	11,6
Nb/Zr	—	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,06	0,07	0,06	—	0,07	0,13	0,15	0,07	0,09
Th/U	1,93	1,72	2,65	2,74	1,92	2,52	2,63	2,59	2,30	2,47	2,30	1,81	2,05	1,81	1,59
Геохим. группа	U-1	K-9	K-1	K-4	K-10	K-2	K-13	K-6	K-11	O-1	K-8	K-3	K-5	K-7	K-12

Примечание к таблице 1. Узон — перлит, экструзивный купол "Гребень", восточный борт кальдеры Узон; **КВН**— обсидианы, кальдера вулкана Однобокий, Карымский вулканический центр; **ЯГЭ** — обсидианы, нодулы из экструзива риолитов, район г. Ягодная; **НАЧ** - обсидианы, Начикинское месторождение, вулкан Шапочка; **Чаша** - обсидианы, маар Чаша, Толмачев Дол, Опала - перлит, экструзив "Бараний Амфитеатр", вулкан Опаяв; **НТК** — обсидианы, вулкан Обсидиановый верховья р. Иткавая; **ИЧП** - обсидианы, р. Мал. **Паялан** и **ИЧБ** - обсидианы, верховья р. Белоголовой, Ичинский вулканический центр; **ХАН** - обсидианы, вулкан Хангар; **Артеф.** - обсидианы из археологических памятников; **К-1 - К-13** - геохимические группы по [Speakman et al., 2005]. Знак вопроса — принадлежность обсидианов группы К-2 к вулканической зоне не установлена. Звездочкой отмечены средние содержания, рассчитанные из большего количества проб, указанных в скобках. Прочерк—нет данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов региональной программы РФФИ-ДВО РАН «Дальний Восток № 06-08-96012 и № 06-05-96159 и гранта CRDF № RG1-2538-VL-03.

#### Литература

Волынец О.Н., Аношин Т.Н., Пузанков Ю.М., Пархоменко В.С. Геохимическая типизация позднекайнозойских базальтов Камчатки (по данным нейтронно-активационного анализа) // ДАН СССР. 1987а. Т. 293. № 3. С. 685-688.

Волынец О.Н., Антипин В.С., Аношин Г.Н., Перепелов А.Б. Геохимические типы вулканических серий островодужной системы Камчатки •• Геохимическая типизация магматических пород и их геодинамика (оперативные информационные материалы). Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова. 1987б. С. 34-55.

Кармайкл П.С.Е. Стекла и стекловатые породы. В кн.: Эволюция изверженных пород. М.: Мир. 1983. С. 229-240.

Кузьмин М.И., Пополитов Э.И. Геохимические особенности магматизма островных дуг и активных континентальных окраин и некоторые проблемы петрогенезиса // Геохимия. 1978. № 5. С. 691-699

Пампура З.Д., Пополитов Э.И., Волынец О.Н., Огородов Н.В., Вазееская А.А., Литасов Н.Е., Кожемяка Н.Н. Геохимические особенности кислых вулканических пород Южно-Камчатского вулканического пояса. // В кн.: Геохимия эндогенных процессов. Ежегодник ГЕОХИ СО АН СССР. 1977. Иркутск. 1979. С. 70-75.

Попов В.К., Пташинский А.В., Кузьмин Я.В., Гласкок М.Д., Гребенников А.В., Спикман Р.Дж., Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Горбач А.А. Геохимия вулканических стекол и источники обсидиана на Камчатке (Дальний Восток России). Северная Пацифика - культурные адаптации в конце плейстоцена и голоцена. Материалы Международной конференции "По следам древних костров...". Магадан: Издательство СМУ. 2005. С. 106-111.

Пополитов Э.И., Волынец О.Н. Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенезиса Новосибирск: Наука. 1981. 182 с.

Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука. 1977. 279 с.

Чурикова Т., Дорендорф Ф., Вернер Г. Природа геохимической зональности вкост простирания Камчаткой островной дуги. В кн.: Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГнГ ДВО РАН. 2001. С. 173-190.

Шевчук В.Д. Генетические типы месторождений кислых вулканических стекол Камчатки. В кн.: Перлиты. М.: Наука. 1981. С. 43-51.

Glascook M. D., Braswell G.E., Cobean R.H. A systematic approach to obsidian source characterization. In: Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory ed. Shackley, M. S. (Plenum, New York). 1998. P. 15-65.

Glascook M.D., Popov, V.K., Kuzmin, Y.V., Speakman, R.J., Ptashinsky, A.V., and Grebennikov A.V. Obsidian Sources and Prehistoric Obsidian Use on the Kamchatka Peninsula // In: D. Dumond and ELL. Bland (Eds.). Archaeology in Northeast Asia (on the pathway to Bering Strait). University of Oregon

*«Геохимия магматических, метаморфических и метасоматических процессов»*

Anthropological Papers № 65. University of Oregon. 2006. P. 73-88.

*Speakman R. J., Glascock M. D., Popov V. K., Kuzmin Y. V., Ptashinsky A. V. and Grebennikov A. V.* Geochemistry of volcanic glasses and sources of archaeological obsidian on the Kamchatka Peninsula (Russian Far East): first-results;; Current Research in the Pleistocene, 2005. V. 22. P. 11-13.

*Ishikawa T., Tera F., Nakazawa T.* Boron isotope and trace element systematics of the three volcanic zones in the Kamchatka arc // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2001. V. 65. №. 24. P. 4523-4537.