

УДК 551.21

**О.Б. Селянгин**

**СТРОЕНИЕ, ВЕЩЕСТВО И БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫЕ  
МАГМАТИЧЕСКИЕ ОЧАГИ ВУЛКАНОВ МУТНОВСКИЙ  
И ГОРЕЛЫЙ (МУТНОВСКИЙ ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ  
РАЙОН, КАМЧАТКА). IV. ПУТИ И МЕХАНИЗМЫ  
ЭВОЛЮЦИИ МАГМ ВУЛКАНОВ МУТНОВСКИЙ  
И ГОРЕЛЫЙ. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
АСПЕКТЫ**

Обсуждаются сериальная принадлежность и особенности эволюции пород южно-камчатских вулканов Мутновский и Горелый, занимающих разные позиции в структуре поперечной петрохимической зональности островодужной системы. Базальт-риодацитовая серия пород вулкана Мутновский образована в результате дифференциации исходной магмы состава высокоглиноземистого толеита, с редкими эпизодами смешения ее производных. Породы вулкана Горелый при сходном диапазоне кремнекислотности отличаются повышенной калиевой щелочностью и относятся к серии переходного типа от толеитовой к известково-щелочной, в формировании которого существенную роль играло смешение магм разных стадий дифференциации. Приуроченность этого явления к определенным стадиям эволюции вулканических систем позволяет судить об общей энергетической направленности их развития, с наращиванием или снижением в составе извергаемого ими материала доли наиболее теплоемкого базальтового вещества.

*Ключевые слова:* серии пород, толеиты, известково-щелочные, дифференциация, смешение магм, направленность развития.

---

**С**равнительный анализ эволюции магматического вещества вулканов Мутновский и Горелый.

Состав пород вулканов Мутновский и Горелый отражает их позицию в зоне перехода континент-океан и, соответственно, в системе поперечной зональности островодужных геоструктур.

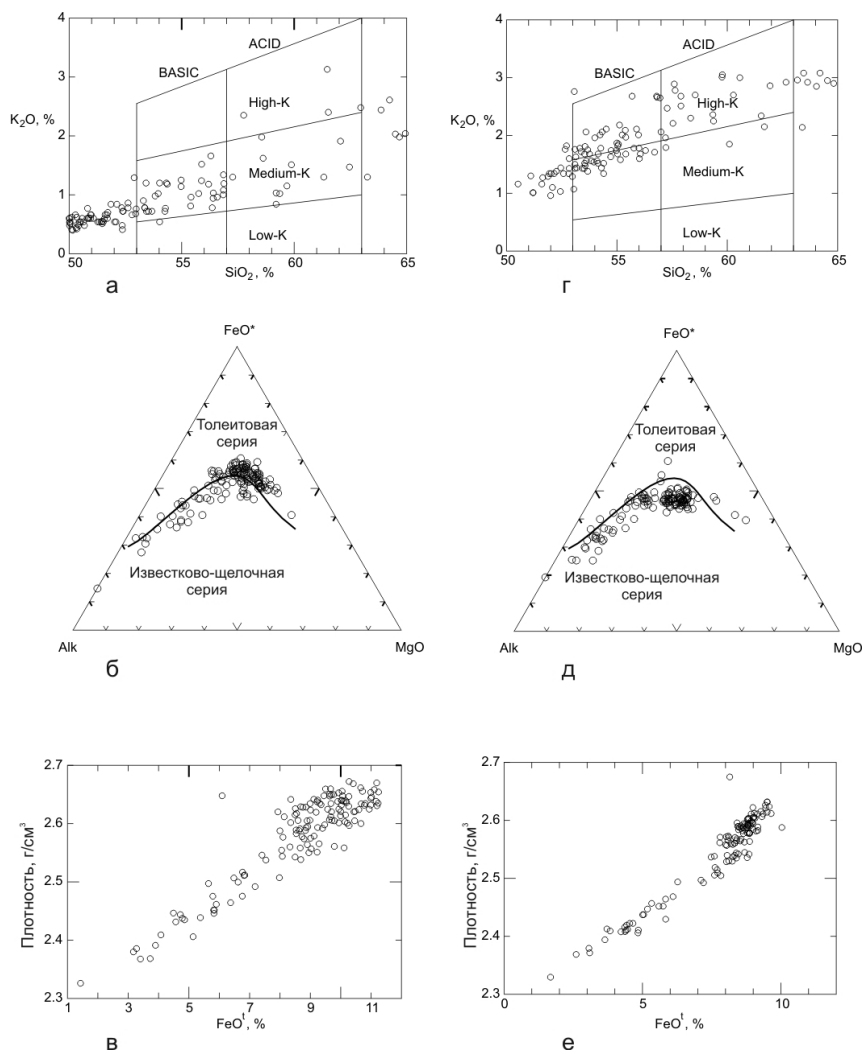
Породы ближайшего к океану вулкана Мутновский относятся к высокоглиноземистой, умеренно-щелочной, умеренно-калиевой толеитовой серии (табл. 1, рисунок, а, б), с обогащением её промежуточных, базальт-андезибазальтовых производных окислами железа.

Таблица 1

## Составы типичных разновидностей пород вулкана Мутновский

Возрастной комплекс	№№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
Мутновский 1	1	50,52	1,09	17,75	3,20	7,73	0,16	7,16	8,62	2,41	0,54	0,38	0,58	0,13	100,29
	2	51,56	1,04	22,55	3,27	4,94	0,21	3,18	8,56	2,82	0,59	0,52	0,96	0,15	100,35
	3	50,88	1,36	18,49	5,77	6,32	0,26	4,78	7,50	2,94	0,54	0,45	0,64	0,18	100,11
	4	59,36	1,01	17,87	2,37	4,37	0,16	2,18	5,46	4,32	1,02	0,41	0,71	0,31	99,55
	5	65,08	0,61	15,84	3,24	1,87	0,14	1,67	4,34	3,92	1,96	0,89	0,24	0,10	99,90
Мутновский 2	6	50,88	1,26	17,90	2,03	8,10	0,22	5,36	9,76	2,70	0,60	0,35	0,81	0,21	100,18
	7	59,88	1,26	16,33	1,93	6,15	0,16	1,96	4,74	4,63	1,51	0,53	0,43	0,45	99,96
	8	53,36	1,35	17,05	5,14	5,66	0,18	3,92	7,86	3,31	0,78	0,60	0,57	0,23	100,01
Мутновский 3	9	50,04	0,85	19,35	2,70	6,12	0,12	5,06	10,70	2,28	0,54	0,80	0,93	0,16	99,65
	10	72,38	0,57	13,43	1,67	2,21	0,03	0,54	1,82	3,93	8,12	0,50	0,20	0,08	100,48
	11	48,76	0,90	17,31	1,13	5,88	0,11	8,00	10,64	2,01	0,27	0,41	1,20	0,21	99,64
	12	65,90	0,71	15,63	4,00	2,13	0,07	0,82	2,04	4,39	3,12	0,56	2,89	0,20	99,70
	13	70,84	0,42	14,70	2,05	1,50	0,02	0,30	1,90	3,55	3,12	0,38	1,18	0,09	100,05
	14	49,74	1,08	18,69	3,66	5,67	0,16	5,64	10,76	2,54	0,54	0,34	0,52	0,23	99,57
Мутновский 4	15	53,82	1,12	17,41	2,14	7,41	0,16	4,04	8,88	2,64	0,98	0,19	–	0,22	99,01
	16	54,02	1,00	17,37	2,50	6,38	0,15	5,00	8,95	3,09	1,20	0,06	0,19	0,18	99,60

Примечания: 1 – магнезиальный базальт, северо-восточное подножие вулкана Мутновский-1; 2 – высокоглиноземистый базальт, юго-западный склон; 3 – высокожелезистый базальт, северное подножие; 4 – андезит, южный склон; 5 – кварцесодержащий амфибол-биотитовый дацит с гомеогенными включениями базальтов, северный склон; 6 – базальт, юго-восточное подножие вулкана Мутновский-2; 7 – афировый ферроандезит, восточный склон; 8 – андезибазальт внутрикальдерного конуса, вершина вулкана (отм. 2353 м); 9 – базальт, северо-восточный склон вулкана Мутновский-3; 10 – риодацит, поток в разрезе северной стенки кальдеры; 11 – магнезиальный базальт побочного прорыва у юго-западного подножия; 12 – дацит, лемаз кальдерообразующего извержения у г. Пемзовой; 13 – риодацит внутрикальдерной экструзии; 14 – базальт, западная часть кратерного гребня вулкана Мутновский-4; 15 – андезибазальтовый шлак внутреннего конуса вулкана Мутновский-4; 16 – андезибазальт, бомба из отложений Активной Воронки. Анализы выполнены в химической лаборатории Института вулканологии ДВО РАН, аналитик Т.Г. Осетрова.



**Рисунок. Некоторые сравнительные характеристики состава и физических свойств пород вулкана Мутновский (а-в) и Гореловского вулканического центра (г-е): а и г – содержания калия, градации по [3]; б и д – сериальная принадлежность по [4]; в и е – плотность соответствующих пород безводных расплавов при 1150°C в зависимости от содержания окислов железа**

Часть таких пород, однако, обогащения железом не обнаруживает и этим близка к известково-щелочной серии (рису-

нок, б). Породы ближайшего к океану конуса Мутновский-2 несколько более железистые («толеитовые»), чем наиболее удаленного конуса Мутновский-1 (при сходных параметрах щелочности), что в общем вписывается в тенденцию общедуговой петрохимической зональности. Породы двух позднейших конусов вулкана, расположившихся между первыми, обнаруживают признаки переходных к известково-щелочным.

В постройке вулкана Мутновский, как отмечалось, абсолютно преобладают базальты и андезибазальты, слагающие до 80 % её объема. Распределение составов пород по разновозрастным элементам вулкана показано выше на рис. 5 в [6]. По структурам, минеральному и химическому составам базальтоиды вулкана варьируют между тремя их крайними разновидностями: относительно редкими умеренно-магнезиальными, содержащими повышенное количество вкрапленников оливина и авгита в ассоциации с кальциевым плагиоклазом (анортит, битовнит-анортит); широко распространенными высокоглиноземистыми, существенно плагиоклазовыми базальтами; афировыми-субафировыми высокожелезистыми базальтами и андезибазальтами. Эти крайние типы чаще встречаются в постройке вулкана Мутновский-1, в более молодых конусах преобладают переходные между ними разновидности.

Образование пород этих типов обеспечивается фракционированием указанной ассоциации минералов: селективной отсадкой из магнезиальных магм оливина и авгита, дающей плагиоклаз-обогащенные высокоглиноземистые составы, или совместным удалением всех трех минералов, обогащающим остаточные расплавы железом.

Породы среднего – кислого состава содержат в качестве вкрапленников более натровый плагиоклаз (лабрадор-андезин), высоко- и низкокальцевый пироксены (авгит и гиперстен) и титаномagnetит, начало кристаллизации которого прекращает обогащение расплавов железом и меняет направление эволюции серии в сторону обогащения магмы кремнеземом и щелочами.

В единственном эпизоде деятельности вулкана Мутновский-1 извергались отмечавшиеся гибридные кварцевые дациты, содержащие, помимо указанных вкрапленников «сухих» минералов, также и гидроксил-содержащие – амфибол и биотит, указы-

вающие на повышенное содержание растворенной в магме воды и, видимо, более глубинное происхождение этих пород.

Смешение магм разных стадий дифференциации было вторым по значимости фактором наблюдаемого разнообразия пород вулкана Мутновский. Продукты этого процесса, преимущественно промежуточных, средних по кремнекислотности составов, приобретают сериальные признаки известково-щелочных. В зависимости от контрастности составов и объемных соотношений смешивавшихся магм формировались либо внешне однородные породы, гибридный характер которых опознается по совместному присутствию в них минералов обеих вышеописанных ассоциаций, либо неполностью гомогенизированные полосчатые и пятнистые разности (преимущественно в пирокластитах), либо, наконец, подобные описанным выше кислые лавы брекчиевидного облика из-за многочисленных включений базальтоидов – результата внедрения, дезинтеграции и закалочной кристаллизации горячей базитовой магмы в более холодной кислой.

Базальт-риодацитовая серия пород Гореловского вулканического центра, удаленного от океана на 12 км далее, чем вулкан Мутновский, показывает заметные петрохимические отличия от продуктов деятельности последнего.

Составы типичных разновидностей пород и их общее распределение по возрастным комплексам центра приведены в табл. 2 и показаны на рис. 4 в [6]. Подавляющая масса средних – кислых пород серии сосредоточена в докальдерных образованиях центра, в отложениях кальдерообразующих извержений и в первом конусе современной постройки. Редкие среди этих ранних образований базальты и андезибазальты проявлены в немногочисленных аппаратах извержений на периферии центра. В середине его структуры базальты проявились на вулканах Горелый-2 и -3, однако абсолютно преобладающими в их постройках и в одновозрастных им побочных прорывах являются гибридные андезибазальты.

В целом серия гореловских вулканитов начинается с несколько более кремнеземистых базальтов (51–52 %  $\text{SiO}_2$ ), чем серия вулкана Мутновский (49 %), отличается пониженными глиноземистостью, железистостью и заметно повышенной щелочностью – главным образом, за счет окиси калия (рисунок, г). Её

Таблица 2

**Представительные анализы пород Гореловского вулканического центра**

Возрастной комплекс	№№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
Докальдерный комплекс	1	67,84	0,67	16,00	1,14	2,01	0,08	0,60	2,42	5,02	3,26	0,24	0,25	0,12	99,65
	2	52,00	1,36	17,49	3,38	6,35	0,18	5,19	9,18	3,23	0,96	0,12	0,12	0,37	99,63
Кальдерообразующие извержения	3	61,68	1,21	16,90	2,21	3,76	0,18	1,84	3,64	4,73	2,15	0,50	1,05	0,42	100,27
	4	65,21	1,14	15,18	2,15	2,67	0,15	1,10	3,40	4,76	3,05	0,20	–	0,30	100,41
Горелый-1	5	53,32	1,42	17,35	2,32	6,29	0,14	4,48	8,88	3,18	1,78	0,04	0,14	0,34	99,68
	6	57,54	1,32	16,28	2,28	5,89	0,15	2,64	6,40	3,99	2,21	0,44	0,30	0,34	99,78
Горелый-2	7	51,88	1,18	17,62	3,72	5,69	0,19	5,48	8,68	3,14	1,29	0,28	0,15	0,27	99,57
	8	59,78	1,43	15,42	1,64	6,29	0,15	2,06	5,20	3,81	3,05	0,23	0,13	0,44	99,63
Горелый-3	9	55,40	1,25	17,04	2,18	6,49	0,19	4,08	6,80	3,46	1,97	0,25	0,22	0,43	99,76
	10	53,38	1,24	16,60	2,23	6,87	0,19	6,24	7,58	3,24	1,72	0,34	–	0,32	99,99
Рифтовая зона	11	60,57	1,51	15,15	1,47	6,30	0,20	2,00	5,80	3,93	3,00	0,12	–	0,48	100,53
	12	58,55	1,51	16,46	1,58	6,71	0,15	2,56	6,14	3,50	2,70	0,16	–	0,47	100,49
	13	52,98	1,16	17,14	2,82	6,41	0,15	5,66	8,50	3,08	1,29	0,02	0,12	0,28	99,61

*Примечания:* 1 – дацитовая лава в основании западного борта кальдеры; 2 – базальт группы локальдерных побочных прорывов у юго-восточного борта; 3 – андезитовый игнимбрит второго горизонта толщи, овраг Опасный; 4 – игнимбрит дацитового состава, северо-западное подножие вулкана Мутновский; 5 – поток андезибазальта в уступе юго-западного подножия вулкана Горелый-1; 6 – андезитовый агглютинат привершинной части его западного склона; 7 – базальт вершины вулкана Горелый-2 (отм. 1829 м); 8 – андезит северо-восточного склона вулкана Горелый-2; 9 – андезибазальт толщи заполнения его западного кратера; 10 – андезибазальт восточного склона вулкана Горелый-3; 11 – андезит, там же, северо-восточный склон; 12 – андезит трещинного прорыва в восточной ветви рифта, восточный склон вулкана Горелый-3; 13 – базальт потока в грабене закальдерной юго-западной ветви рифтовой зоны. Анализы выполнены в химической лаборатории Института вулканологии ДВО РАН, аналитики Т.Г. Осетрова, Г.Ф. Князева.

содержание, более высокое уже в базальтах, показывает и существенно более высокий темп накопления в более эволюционированных дериватах, достигая максимальных 3,2 % при 58 % SiO<sub>2</sub> против 66 % SiO<sub>2</sub> в серии вулкана Мутновский. При этом повышенные содержания и наибольший темп накопления K<sub>2</sub>O свойственны вулканитам двух позднейших, среднего и юго-восточного конусов вулкана и его рифтовой зоны, обнаруживая направленность изменения этого параметра в пространстве (и времени), полностью противоположную общедуговой.

В подавляющем большинстве базиты Гореловского центра не показывают свойственной мутновским аналогам вариативности содержаний магнезии и глинозема, не обнаруживают и характерного для приокеанских вулканов абсолютного накопления в породах окислов железа – за исключением малопредставительной, к сожалению, серии вулканитов раннего посткальдерного комплекса (рисунок, д). По этим признакам и по повышенной щелочности они относятся к известково-щелочной серии. Однако в редких на вулкане Горелом полукристаллических включениях кумулятивных габбро-долеритов установлены стекла с содержанием общего FeO от 11,5 до 13,5 %.

Минеральный состав вулканитов Гореловского центра, в подавляющем большинстве порфировых, отличается от наблюдаемого в мутновских породах некоторыми особенностями. Вкрапленники в базальтах представлены менее кальциевым плагиоклазом (битовнит), оливином, авгитом и редкой хромистой шпинелью, но, как правило, с примесью гиперстена и более натрового плагиоклаза. Породы среднего – кислого состава содержат сходную с мутновскими аналогами титаномagnetит-двупироксен-плагиоклазовую ассоциацию вкрапленников, вулканиты с гидроксил-содержащими минералами не встречены.

Существенным отличием серии вулканитов Гореловского центра от мутновской является гораздо более широкое развитие в ней процесса смешения магм в диапазоне относительно мало контрастных основных – средних составов. При этом, если на вулкане Мутновский смешение было, в общем, эпизодическим явлением на средних – поздних стадиях развития каждого из его конусов, то в Гореловском центре оно массово проявилось при формировании вулканов Горелый-2 и -3, в лавах прорывов на их склонах и в рифтовой зоне, т.е. с ясной

приуроченностью к позднему этапу развития всего вулканического центра. В его предшествующей истории извергались преимущественно несмешанные андезит-риодацитовые вулканиды «чистых линий эволюции», с эпизодами смешения в пределах этого же диапазона составов (синэруптивное смешение в игнимбриках) и единичными проявлениями лав с базитовыми включениями (ранний посткальдерный комплекс).

На вулканах Горелый-2 и -3 проявлен тип смешения, свойственный базальт-андезитовому спектру составов – с образованием внешне однородных андезито-базальтов со смешанными ассоциациями минералов-вкрапленников (миктиты). Кислый ингредиент смесей представлен в конусе Горелый-2 единичными потоками двупироксен-плагиоклазовых андезитов — андезидацитов, подобных развитым в более ранних комплексах. Базальтовый компонент в чистом виде не проявлен, все базальты в той или иной мере несут следы примешивания более кислого материала, выраженные в совместном присутствии оливина и гиперстена, в переполненных стекловатыми микровключениями ядрах и зонах плагиоклазов, окаймлении гиперстена авгитом. Судя по наименее эволюционированным составам минералов в отмеченных родственных кристаллических включениях, чистый базальтовый ингредиент миктитов могла представлять магма в равновесии с парагенезисом оливин  $Fo_{84}$  + плагиоклаз  $An_{90}$  + клинопироксен  $Fs_{12}$  ± хромистая шпинель. Анализ возможных линий смешения показывает, что наиболее распространенные в поздних конусах вулкана Горелый андезибазальты могли быть образованы смешением указанной (или несколько более дифференцированной) базальтовой магмы с 20–60 % андезитовой. Характерные только для этих вулканидов крупные пластинчатые вкрапленники плагиоклаза, ранее в породах центра не проявлявшиеся, кристаллизовались, вероятнее всего, из смешанных расплавов.

Таким образом, базальт-андезитовая часть известково-щелочной серии Гореловского центра (как и некоторые породы вулкана Мутновский) образована в результате смешения магм разных стадий дифференциации и является, по существу, гибридной, – в отличие от «настоящих» известково-щелочных серий, образуемых либо плавлением пород земной коры, либо фракционированием из базальтов ассоциаций минералов с ра-



нее, чем в толеитах, кристаллизующимся титаномагнетитом, – с одновременной ассимиляцией пород коры или без неё. Поскольку смешение возможно и внутри таких (самостоятельных) известково-щелочных серий, существо их различий с гибридными, связанными с толеитовыми сериями заключается, очевидно, в путях дифференциации магмы последних до образования кислых ингредиентов магматических смесей.

Присутствие железистых базитов в раннем посткальдерном комплексе и выделение в других базальтах вулкана Горелый их вышеотмеченной «собственной» кристаллической фазы, несмотря на примесь хромистой шпинели, обогащает остаточные расплавы окислами железа, – что и показывают составы стекол упоминавшихся кристаллических включений. Следовательно, дифференциация до андезитовых и более кислых составов в сравнительно высокощелочной серии гореловских вулканитов проходила, как и в умереннощелочной серии вулкана Мутновский, по толеитовому пути, через определенный максимум железистости, по достижении которого выделение магмой слезающего, магнетит-содержащего парагенезиса минералов вызвало её падение и обогащение позднейших фракционатов кремнеземом и щелочами.

Однако в серии гореловских вулканитов, в отличие от серии вулкана Мутновский, высокожелезистые дериваты экзотичны, и расплавы большинства основных пород вулкана Горелый показывают существенно меньшую расчетную плотность (рисунок, *в* и *е*). Магмопроводящая система Гореловского центра, очевидно, не пропускает на поверхность ни тяжелую исходную базальтовую магму, ни её еще более плотные (или равной, или несколько меньшей плотности – в зависимости от накопления воды) высокожелезистые производные, оставляя их дифференцироваться на глубине до «проходных» андезитовых составов. В деятельности поздних конусов вулкана Горелый они изредка проявлялись самостоятельно, но большей частью становились ингредиентами смесей с примитивной базальтовой магмой, своего рода «поплавками», способными донести её до поверхности.

Локализация Гореловского вулканического центра в зоне отрицательной гравитационной аномалии и более глубокого положения мелового фундамента указывает, что фактором та-

кой регуляции подачи на поверхность магм разных составов является низкая плотность пород, вмещающих магматическую систему и выполняющих роль плотностного фильтра. Смешение магм толеитовой серии с образованием гибридной известково-щелочной является, по существу, способом «обхода» базальтовой магмой её же «бесперспективных к извержению» дериватов, другим, помимо дифференциации (и противоположным её по характеру), способом авторегуляции и самоподдержания вулканического магматического процесса (30) в заданных внешних обстоятельствах.

Режим деятельности магмопитающей системы вулкана, при котором практически постоянно извергаются лишь смешанные лавы, предполагает определенный баланс размеров очага и скорости дифференциации магмы, частоты и объемов его пополнений свежей исходной магмой, степени опустошения очага извержениями. Именно режим периодических пополнений и частичных опустошений (или приращений объема) очага, являющийся эффективным механизмом обогащения магм несовместимыми компонентами [3], может быть не в меньшей мере ответствен за их повышенную калиево-щелочность, чем степень плавления в мантийном клине и примешивание к протоплаву расплава субдуцируемых осадков [2].

Известково-щелочные вулканиды ранних этапов эволюции Гореловского центра, представляющие преимущественно андезит-риодацитовую часть его серии, также могли дифференцироваться по толеитовому пути, приобретая признаки известково-щелочных за счет селективной отсадки титаномагнетита.

Роль вмещающих магматических систем пород как плотностных фильтров, достаточно заметная при сравнении продуктов деятельности двух описанных вулканов, в менее явной форме должна сказываться и для каждого из них по мере их роста. Так, наличие на вулкане Мутновский-1 относительно высокожелезистых пород, тяготеющих к подножиям и нижним горизонтам постройки, еще не означает, что их составы были самыми высокожелезистыми на путях дифференциации исходной для них магмы: последние могли не проявиться на поверхности. Приближенная оценка такого скрытого максимума абсолютного накопления окислов железа в сериях вулканидов может быть получена графически, путем экстраполяции до пе-

ресечения в «шпинелевом углу» линий возможного изначально-го обогащения и последующего обеднения пород этими окислами, – например, на диаграммах FeO–SiO<sub>2</sub>. Для серии вулкана Мутновский такой максимум мог составлять 13,5 % общего FeO против реально проявленных 11,5 %.

**Роль смешения магм как индикатора энергетической направленности развития вулканов, его влияние на характер извержений и морфоструктурную эволюцию построек.**

Широко распространенное и в последние десятилетия активно изучаемое явление смешения магм все еще рассматривается само по себе, вне широкого контекста причинно-следственных связей. Анализ структурно-вещественной эволюции двух вулканов, расположенных близко, но на участках с достаточно контрастными плотностными свойствами земной коры показывает, что смешение магм занимает определенное место в эволюции магматических систем, проявляясь на её переходных этапах, когда базальтовая магма еще или уже не способна к прямому самостоятельному поднятию до поверхности. Масштабное проявление базальт-андезитовых миктитов на позднем этапе развития Гореловского центра, после длительного периода существенно кислого вулканизма, ясно намечает тенденцию к будущим извержениям чистых базальтов и, таким образом, к дальнейшему антидромному, энергетически-восходящему развитию центра. Многоконусный вулкан Мутновский в этом отношении развивается в длиннопериодно-пульсирующем, интегрально стабильном режиме. Примером развития по энергетически-нисходящей линии является другой южнокамчатский вулкан – Ксудач, на котором после образования толеитовыми базальтоидами крупного стратоконуса и кальдеры на нем породы внутрикальдерных построек всех последующих циклов его деятельности были представлены исключительно смешанными лавами переходного и известково-щелочного характера [1], с прогрессивно уменьшающейся в них долей базальтового ингредиента.

Существенными общими свойствами гибридных магм базальт-андезибазальтового диапазона составов, подобными вышеописанным для смешанных дацитовых лав с базальтоид-

ными включениями, но проявленными несравненно заметнее, являются их гораздо более сниженные вязкость, эксплозивность, и, соответственно, высокая текучесть их лав, формирующих потоки малой мощности, но протяженностью до десятков км. Эти породы, как и разогревавшаяся дацитовая матрица лав с включениями, также выделяются повышенной стекловатостью основных масс. Однако в относительно однородных основных известково-щелочных вулканитах, образуемых смешением ингредиентов толеитовых с быстрым выравниванием температуры смесей, это свойство связано уже с особенностями их состава: сниженной глиноземистостью и повышенной калиевой щелочностью, задерживающих массовую кристаллизацию микролитов плагиоклаза как главного фактора повышения вязкости магмы (лавы) у выхода из жерла и в потоках на поверхности, — несмотря на потерю летучих компонентов. Очевидно, с этой особенностью связана возможность длительной безэксплозивной высокотемпературной дегазации конвектирующих магм приповерхностных очагов вулканов, десятилетиями проявляющаяся на Мутновском вулкане, а в последние годы и на вулкане Горелом. Сниженные вязкость и эксплозивность, повышенная текучесть существенно андезибазальтовых гибридных магм имеют также прямое отражение в систематически меньших абсолютных высотах и крутизне формируемых ими вулканических построек, сравнительно с образованными «чистыми» вулканитами толеитового профиля. Менее заметные в линейных постройках типа вулканических хребтов, эти закономерности бывают прекрасно выражены на вулканах строго центрального типа развития. В частности, отмеченный выше вулкан Ксудац, с его телескопированным комплексом кальдер и все менее высоких от цикла к циклу внутрикальдерных конусов, представляет особенно наглядный пример развития вулкана с прогрессивным снижением абсолютной высоты [1].

Вулканы Мутновский и Горелый являются одними из наиболее перспективных для геотехнологического освоения объектов на территории Камчатки, — в силу благоприятных особенностей их развития, наиболее детальной изученности их строения, наличия у них малоглубинных магматических очагов, достижимых при современных методах бурения, и достаточно

развитой инфраструктуры района: дороги к краевому центру, электроэнергии от близко расположенной Мутновской ГеоЭС, а также первичной обеспеченности средствами сейсмического и вулканического прогноза и предупреждения опасности. Освоение энергетических ресурсов очагов этих вулканов, с возможным попутным извлечением разнообразных полезных компонентов магматических флюидов, могло бы обеспечить значимый прирост экономического потенциала региона и нового, фундаментального и прикладного научного знания.

Данная статья входит в цикл работ, посвященных строению, веществу и близповерхностным магматическим очагам вулканов Мутновский и Горелый (Мутновский геотермальный район, Камчатка) [5, 6, 7].

Автор признателен своим коллегам Е.М. Газзаевой, И.В. Масловской и Р.И. Пашкевичу за полезное обсуждение статей публикуемого цикла и помощь в подготовке их к печати.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селянгин О.Б. Геологическое строение и эволюция кальдерного комплекса вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 16–27.
2. Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Res. 1997. V. 47. P. 125–139.
3. Gill J. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 390 p.
4. Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the Common volcanic rocks // Canad. J. Earth Sci. 1971. № 8. P. 523–548.
5. Селянгин О.Б., Строение, вещество и близповерхностные магматические очаги вулканов Мутновский и Горелый (Мутновский геотермальный район, Камчатка). I. Геологическое положение вулканов // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». – 2016. С. 348–364.
6. Селянгин О.Б., Строение, вещество и близповерхностные магматические очаги вулканов Мутновский и Горелый (Мутновский геотермальный район, Камчатка). II. Вулкан Мутновский // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». – 2016. С. 365–400.
7. Селянгин О.Б., Строение, вещество и близповерхностные магматические очаги вулканов Мутновский и Горелый (Мутновский геотермальный район, Камчатка). III. Гореловский вулканический центр Мутновского геотермального района // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». – 2016. С. 401–437. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

---

Селянгин Олег Борисович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник; nigtc@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.



---

UDC 551.21

### **STRUCTURE, SUBSTANCE AND NEAR-SURFACE MAGMATIC CHAMBERS OF MUTNOVSKY AND GORELY VOLCANOES (MUTNOVSKY GEOTHERMAL REGION, KAMCHATKA). IV. MAGMAS EVOLUTION OF MUTNOVSKY AND GORELY VOLCANOES. GEOLOGICAL AND ENERGY ASPECTS**

Selyangin O.B., Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Leading Researcher, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia.

---

*Serial belonging and features of rocks evolution of the South-Kamchatka volcanoes Mutnovsky and Gorely occupying different positions in the structure of cross petrochemical zonality of island arc system are discussed. Basalt-riodacite rocks series of the Mutnovsky volcano was formed as a result of differentiation of parent magma of high-aluminous tholeiite composition with rare mixture of its derivatives. The rocks of Gorely volcano with similar range of silica acidity have increased potassium alkalinity and belong to the transition type from tholeiite to calc-alkali. Magma mixture of different stages of differentiation played a significant role to form it. This phenomenon confinedness to specific stages of volcanic systems evolution allows to estimate general energetic orientation of their development, with the increase or decrease of the share of the best heat capacity basalt substance in the material composition erupted by them.*

*Key words: rocks series, tholeiites, calc-alkali, differentiation, magmas mixing, development orientation.*

#### **REFERENCES**

1. Seljangan O.B. *Geologicheskoe stroenie i jevoljucija kal'dernogo kompleksa vulkana Ksudach* (Geological structure and evolution calderaro complex of Ksudach volcano) // *Vulkanologija i sejsmologija*. 1987. No 5. pp. 16–27.
2. Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // *Quaternary Res.* 1997. V. 47. pp. 125–139.
3. Gill J. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 390 p.
4. Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the Common volcanic rocks // *Canad. J. Earth Sci.* 1971. No 8. pp. 523–548.

5. Seljagin O.B. *Stroenie, veshhestvo i blizpoverhnostnye magmaticheskie ochagi vulkanov Mutnovskij i Gorelyj (Mutnovskij geotermal'nyj rajon, Kamchatka). I. Geologicheskoe polozhenie vulkanov* (., Structure, substance and subsurface magma chambers of the volcanoes Mutnovsky and Gorely (Mutnovsky geothermal area, Kamchatka). I. geological position of the volcanoes) // GIAB No 11, Special'nyj vypusk No 31 «Kamchatka-3». 2016. pp. 348–364.

6. Seljagin O.B. *Stroenie, veshhestvo i blizpoverhnostnye magmaticheskie ochagi vulkanov Mutnovskij i Gorelyj (Mutnovskij geotermal'nyj rajon, Kamchatka). II. Vulkan Mutnovskij* (Structure, substance and subsurface magma chambers of the volcanoes Mutnovsky and Gorely (Mutnovsky geothermal area, Kamchatka). II. The Mutnovsky volcano) // GIAB No 11, Special'nyj vypusk No 31 «Kamchatka-3». 2016. pp. 365–400.

7. Seljagin O.B. *Stroenie, veshhestvo i blizpoverhnostnye magmaticheskie ochagi vulkanov Mutnovskij i Gorelyj (Mutnovskij geotermal'nyj rajon, Kamchatka). III. Gorelovskij vulkanicheskij centr Mutnovskogo geotermal'nogo rajona* (Structure, substance and subsurface magma chambers of the volcanoes Mutnovsky and Gorely (Mutnovsky geothermal area, Kamchatka). III. Gorelovsky volcanic center of the Mutnovsky geothermal area) // GIAB No 11, Special'nyj vypusk No 31 «Kamchatka-3». 2016. pp. 401–437.