

УДК 551.21:311.1

О ПРОДУКТАХ РЕАКЦИЙ ФУМАРОЛЬНЫХ ГАЗОВ С
ПИРОКЛАСТИКОЙ (ВУЛКАН ГОРЕЛЫЙ, АВГУСТ 2011)

Курочкина Т.А.¹, Голушкова А.В.¹, Шишканова К.О.², Яблокова Д.А.²

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

г. Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель к.г.-м.н. Округин В.М.

Приведены первые данные о химическом и минеральном составе продуктов реакции парогазовой струи с пирокластикой, слагающей стенки активного кратера вулкана Горелый. Диагностированы минералы из групп силикатов (смектит, цеолиты), сульфатов (алунит, гипс) и карбонатов (кальцит).

Ключевые слова: вулкан Горелый, возгоны, паровая эмиссия, цеолиты, алунит, гипс, кальцит.

ВВЕДЕНИЕ.

Вулкан Горелый (1829 м) относится к числу наиболее активных и продуктивных вулканов Южной Камчатки. Этот щитовой вулкан с кальдерой 12x13 км располагается в 75 км к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский [3]. В прошлом столетии зафиксировано до семи периодов его активности. Последние значительные по своим масштабам эксплозивные извержения происходили в 1980 - 1981 и 1984 - 1985 г.г. В обоих случаях центром извержения был активный вершинный кратер [5].

С 1985 по 2010 г.г. вулкан находился в состоянии относительного покоя или, точнее, слабой фумарольной деятельности. В активном кратере образовалось в очередной раз кислое озеро (рис. 1 а). По периферии располагались фумаролы, позиция которых, размеры и интенсивность газоотделения варьировали в небольших пределах. В 2000 г. были отобраны пробы конденсата из наиболее крупной фумаролы и воды кратерного озера [13]. В июне 2010 г. после двадцатипятилетнего перерыва деятельность вулкана значительно активизировалась. В основании стенки центрального

кратера началась перегруппировка прогретых площадок и фумарол. Они стали концентрироваться в одной зоне, в которой затем появилось отверстие с красным свечением (рис. 1 б). В течение года в зоне взаимодействия струи вулканического газа (температура которой по данным инфракрасной съемки достигала 870°C) с эффузивно-пирокластическими отложениями, слагающими стенки кратера, появились новообразования - продукты реакции газ-порода, так называемые возгоны.



Рис. 1. Центральный кратер вулкана Горелый: а - кислотное озеро; б - выход парогазовой струи.

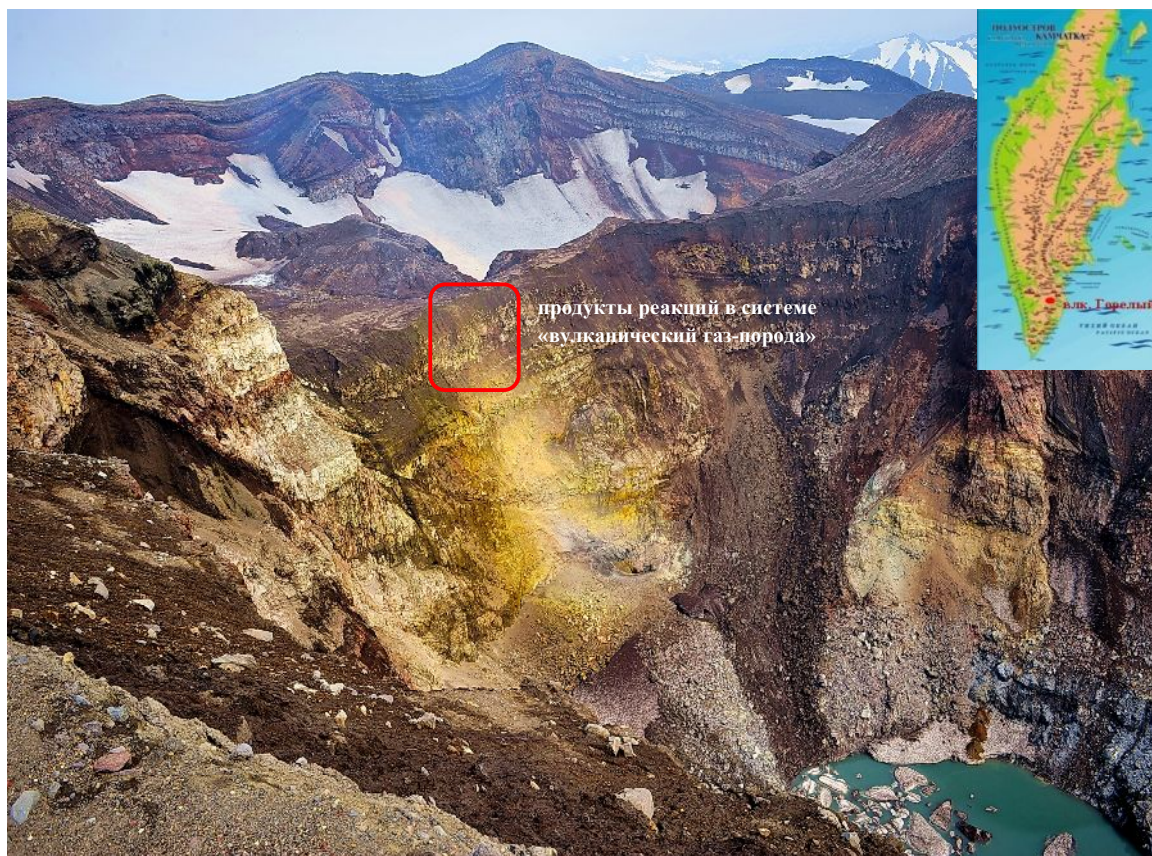


Рис. 2. Активный кратер вулкана Горелый.

В августе 2011 г. сотрудниками лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН были отобраны из верхних частей зоны взаимодействия газ - порода методом «псевдодрагирования» образцы измененной пирокластики (рис. 2). Они представляли собой неустойчивые, гигроскопичные агрегаты, значительную часть которых не удалось сохранить от разложения.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВУЛКАНЕ ГОРЕЛЫЙ

Вулкан имеет сложное строение. В его структуре принимают участие две постройки - древняя и современная, сформированные в результате трех этапов вулканической активности (рис. 3) [8]. Древняя постройка (Пра-Горелый) имеет щитообразную форму. В центре ее расположена кальдера диаметром 13x12 км. Вулкан Пра-Горелый сложен породами базальт-андезит-дацит-риолитовой формации, среди которых обнаружены и вы-

сокомагнезиальные базальты ($MgO \sim 11\%$). Современная постройка (Молодой Горелый) в виде хребта, вытянутого в запад-северо-западном направлении, занимает центральную часть кальдеры. Молодой Горелый включает конусы трех длительно развивавшихся стратовулканов и конусы побочных прорывов. Все они сформированы породами эффузивно-пирокластических фаций от основного до умеренно кислого составов (базальтами, андезитами и дацитами) [1, 10].

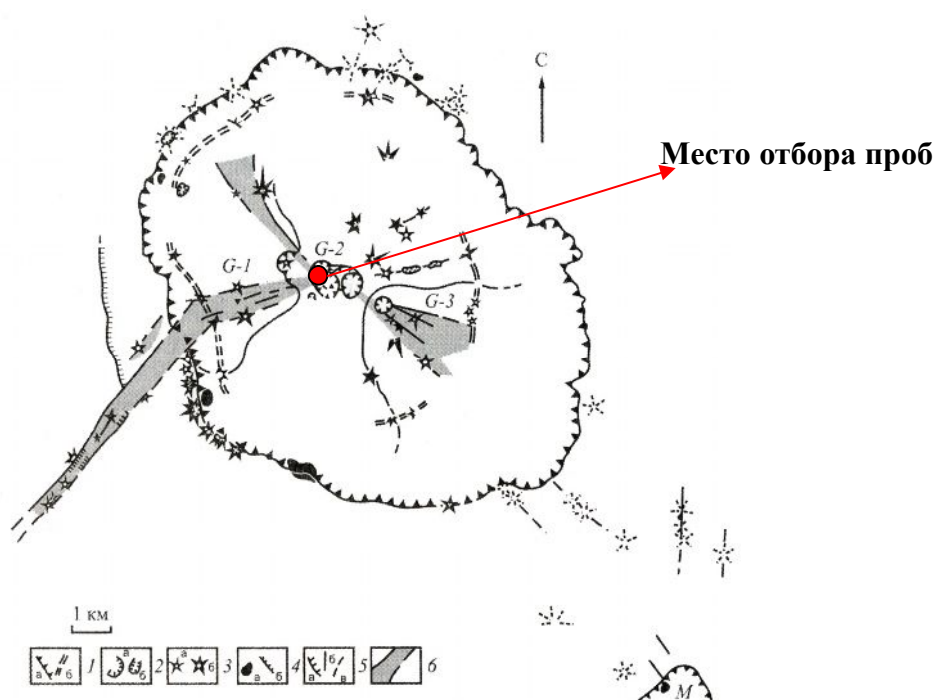


Рис. 3. Структурная схема вулкана Горелый [7].

1 - контур кальдеры вулкана Горелый по бровке уступа (а) и очертания блока предполагаемой дополнительной просадки (б); 2 - кратеры (а) и лавовые бокки (б); 3 - шлаковые конусы прорывов докальдерного и ранне-посткальдерного комплексов (а), побочные прорывы вулкана Горелый (б); 4 - экструзии (а) и дайки (б); 5 - разломы с выраженным смещением блоков (а), безамплитудные (б), погребенные и предполагаемые (в); 6 - рифтовая система вулкана; G-1, G-2, G-3 - конусы вулкана Горелый; М - вулкан Мутновский.

ОБЪЕКТ, ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная задача данной работы - изучение продуктов современного вулканизма и процессов, связанных с ним, соответствует планам НИР лаборатории вулканогенного рудообразования. Используются классические

методы минералогии, такие как рентгенофлуоресцентный, рентгенофазовый.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящем сообщении представлены первые результаты исследований: - минерального и химического составов продуктов реакций в системе «вулканический газ-порода»; - поведения токсичных элементов и тяжелых металлов в этих новообразованиях - возгонах.

Методами рентгенофазового анализа выполнена диагностика минералов групп силикатов (сметтит, цеолиты), сульфатов (гипс, алунит), карбонатов (кальцит), возникших в результате взаимодействия в системе «вулканический газ - порода». Самые распространенные среди новообразований - алунит, гипс, сметтит (табл.1).

Таблица 1. Минеральный состав продуктов реакции фумарольных газов с пирокластикой (по данным рентгенофазового анализа).

Минерал/ Проба	1	2	3	4	5	6
Алунит $KAl_3[SO_4(OH)_2]_3$	13	33	40	31	17	24
Плагиоклаз основной * $Ca[Al_2Si_2O_8]$	17	37	42	23	46	40
Сметтит	7	4	-	-	4	3
Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	53	-	-	44	8	3
Цеолиты	10	26	-	-	-	16
Кварц SiO_2	15	-	-	-	6	-
Кальцит $CaCO_3$	-	-	-	-	19	-
Тридимит SiO_2	-	-	-	-	-	14
Гидрослюда	-	-	4	-	-	-
Смешанослойный - слюда + сметтит с преобладанием слюды	-	-	1	-	-	-

Примечание: 1 - G1-1; 2 - G-2-1; 3 - G-1-2; 4 - G-2-2; 5 - G-1-1; 6 - G-2-3; *- «ювенильный минерал» пирокластики; анализы выполнены в МГУ, геологический факультет, аналитик ст.н.с. Косоруков В.Л.

Алунит как и алунитизация пород пользуются широким развитием в районах как древних так и современных вулканов (вв. Безымянный, Ши-

велуч, Мутновский, Авачинский). При этом алунит - типоморфный минерал гидротермальных систем, ответственных за формирование эпitherмальных рудных месторождений типа «хай сульфидейшн» (HS) (рис. 4).

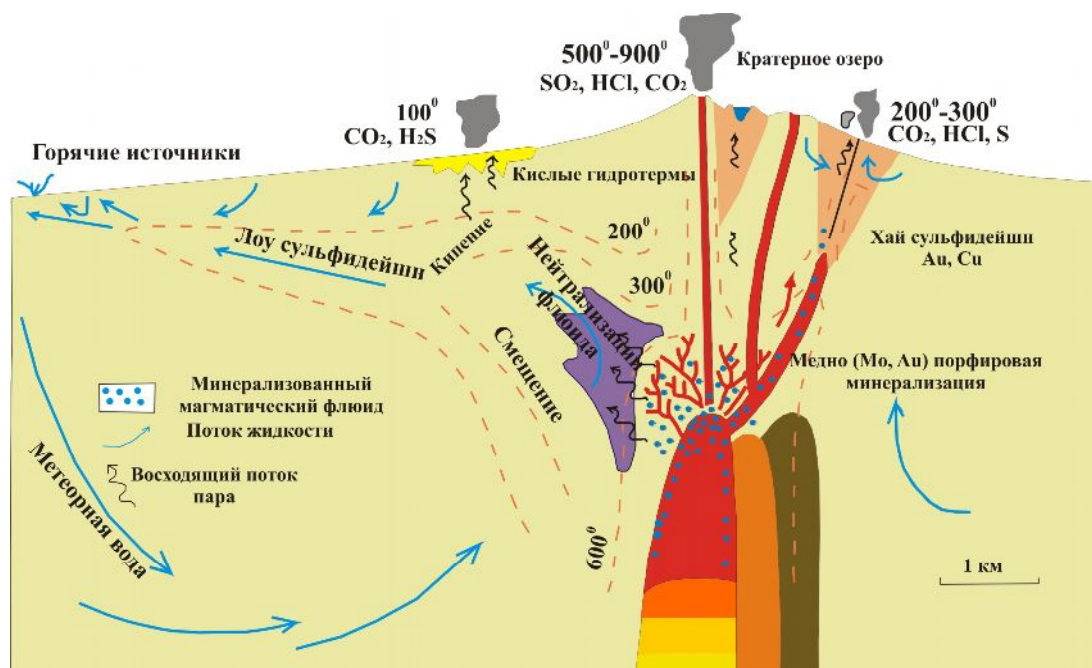


Рис. 4. Схема гидротермально-магматической системы [8].

К петрохимическим особенностям пород вулкана следует отнести высокие содержания CaO , TiO_2 , оксидов двух- и трехвалентного железа [9]. Для сравнительного анализа новообразований-возгонов с материалом вулканической постройки авторами были использованы результаты исследований Кирсанова И.Т., Озерова А.Ю., 1983 г. [3].

Химический состав продуктов реакций в 2011 году фумарольных газов с пирокластикой, слагающей кромки активного кратера, приведен в таблице 2. Содержания SiO_2 меняются от 60.80 до 70.90 мас. %, что существенно выше его концентрации в исходном материале.

По данным изучения химического состава возгонов и исходного материала (пирокластик) построены графики зависимостей концентраций оксидов K , Na , Mg , Al , $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ и Ca от содержания SiO_2 . На рис. 5 четко прослеживается корреляционная связь оксидов названных выше металлов

с оксидом кремния, а именно - обратная зависимость - с увеличением содержания кремнекислоты уменьшаются количества оксидов K, Na, Mg, Al, $Fe^{2+}+Fe^{3+}$ и Ca. Вероятнее всего происходит вынос этих металлов в процессе взаимодействия парогазовой струи с материалом постройки вулкана.

Таблица 2. Химический состав пород и продуктов реакции фумарольных газов с пирокластикой по данным РФА, мас. %.

№/х.э.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	55.33	55.50	67.40	60.80	64.20	70.90	65.50	67.30
TiO ₂	1.07	1.34	0.86	1.18	1.29	1.21	1.23	1.29
Al ₂ O ₃	16.53	15.90	9.69	8.68	9.74	9.92	9.39	9.65
Fe ₂ O ₃ + FeO	10.25	9.56	4.54	6.30	7.85	6.75	6.72	7.31
MnO	0.14	0.22	0.06	0.10	0,11	0.09	0.09	0.10
CaO	7.14	7.08	9.00	4.00	5.86	4.90	6.62	5.42
MgO	2.73	3.24	1.26	1.37	1.49	1.42	1.57	1,47
Na ₂ O	3.48	3.32	1.72	1.77	2.05	1.78	1.81	1.95
K ₂ O	2.18	2.11	1.25	1.74	1.94	1.57	1.84	1.85
P ₂ O ₅	0.26	0.17	0.17	0.24	0.26	0.25	0.27	0.27
∑	93.99	99.70	95.94	86.17	94.79	98.78	95.04	96.61
S	<0.01	<0.01	2.52	0.40	0.68	1.06	1.06	0.67
F	<0.01	<0.01	<0.01	0.80	0.69	0.15	0.60	0.47

Примечание: 1, 2 - химический состав пород, выброшенных на поверхность при извержении вулкана Горелый в 1980-1981г.г. (по данным Кирсанова И.Т., Озерова А.Ю., 1983 г.), 1 - смесь резургентного и ювенильного пепла, 2 - преимущественно ювенильный пепел; 3-8 - химический состав продуктов реакции «газ-смесь резургентного и ювенильного пепла», отобранных в августе 2011 г., 3 - G1-1, 4 - G-2-1, 5 - G-1-2, 6 - G-2-2, 7 - G-1-1, 8 - G-2-3; анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН, аналитики Садовникова А.О., Тимофеева И.Ф.

Концентрации микроэлементов в возгонах вулкана по сравнению с кларками пород основного состава варьируют в широком пределе (табл. 3).

Так, содержание мышьяка в продуктах фумарольной деятельности превышает кларк в 17-80 раз, а концентрации лантана - в 40-500 раз.

Для возгонов характерны низкие концентрации (в ppm) Ni (0-13), Zn (30-74), Nb (2-8), повышенные - Pb (62-124) As (34-159), La (599-8589), соответственно.

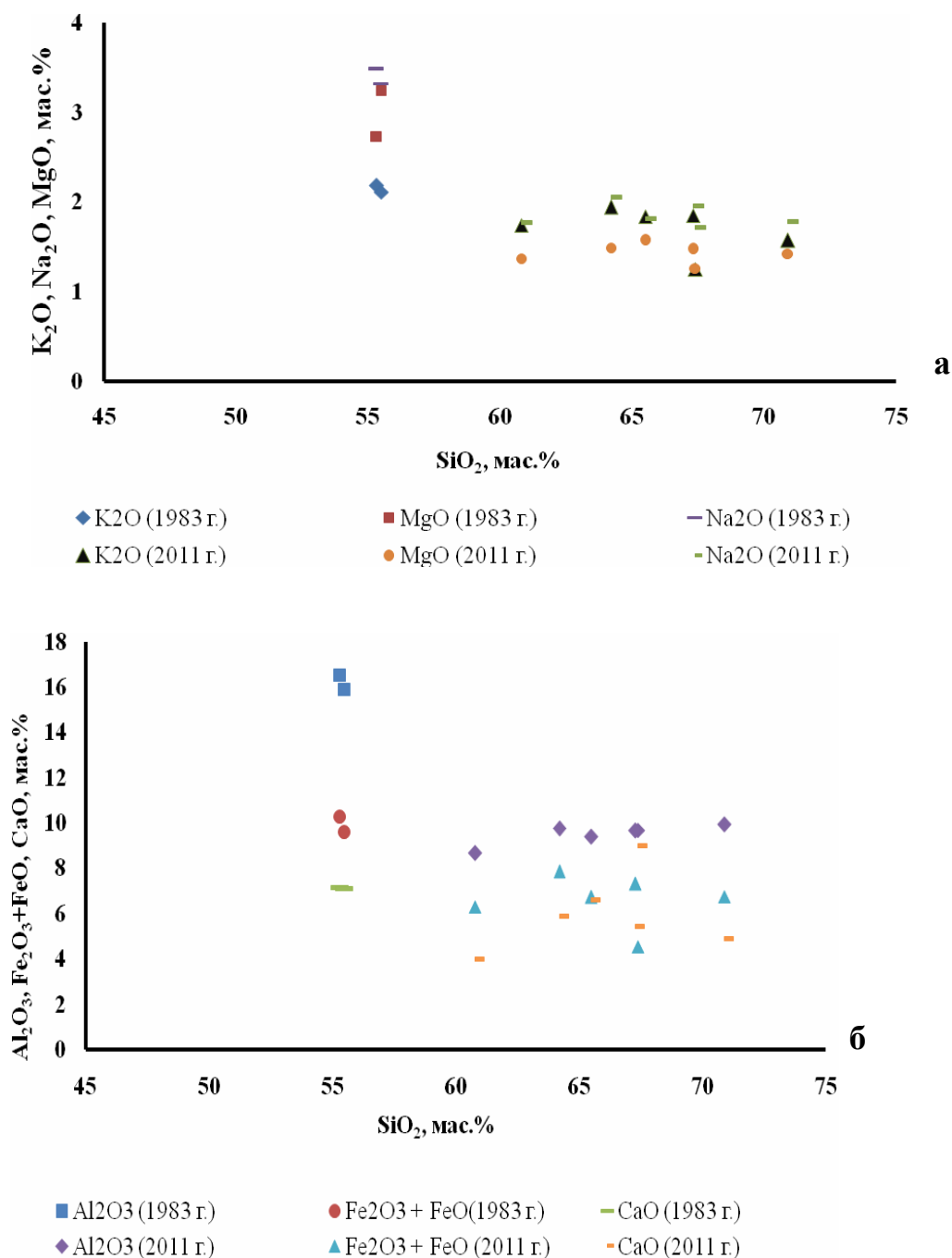


Рис. 5. Вариации концентраций K_2O , Na_2O , MgO (а); Al_2O_3 , Fe_2O_3+FeO , CaO (б) в зависимости от содержания SiO_2

Таблица 3. Химический состав пород и продуктов реакции фумарольных газов с пирокластикой по данным РФА (ppm)

Х.э. /№	1	2	3	4	5	6	Содержание элемента в породах ос- новного со- става*	Предел об- наружения DL
Sc	28	28	30	30	31	31	30	1.5
Ni	0	0	8	10	13	10	130	1.6
Cu	12	81	57	42	86	60	87	2.1
Zn	30	42	74	57	70	67	105	1.6
As	34	73	83	65	159	94	2	2.3
Rb	21	15	43	33	41	38	30	0.8
Sr	369	133	374	339	501	334	465	0.8
Y	24	16	40	28	38	32	21	0.9
Zr	104	103	234	180	212	205	140	1.4
Nb	2	2	6	8	8	8	19	0.9
La	8589	6973	5390	5763	599	3072	1.5	3.0
Pb	62	50	74	87	124	85	15	4.5
Th	3	13	8	11	11	16	6	1.4
U	0	0	0	0	0	0	4	1.2

Примечание: 1 - G1-1, 2 - G-2-1, 3 - G-1-2, 4 - G-2-2, 5 - G-1-1, 6 - G-2-3; * - по К. Таркьяну и К. Ведеполу, 1961; анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН, аналитики Садовникова А.О., Тимофеева И.Ф.

ВЫВОДЫ:

1. Приведены первые данные о химическом и минеральном составах продуктов реакции фумарольных газов с пирокластическими отложениями, образовавшимися процессе новой активизации вулкана Горелый (2010-2011 г.г.);

2. Наиболее распространенные минералы продуктов взаимодействия «вулканический газ - порода» - гипс, алунит и смектит;

3. В процессе взаимодействия парогазовой струи с пирокластическими отложениями 1980-1985 гг. происходит вынос оксидов Na, Mg, K, Al, Ca, Fe и накопление оксида Si;

4. Химический состав возгонов отличается высокими содержаниями мышьяка, свинца и лантана при низких концентрациях никеля (в сравнении с кларками) изверженных пород.

Авторы выражают благодарность научному руководителю к. г.-м. н. Округину В.М. за постоянное внимание и поддержку, организацию и проведение исследований; сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования ст. инж. Полушину С.В. Лунькову В.Ф., Куликовой Р.Н. за помощь в отборе и обработке каменного материала; зав. Аналитическим центром ИВиС ДВО РАН Карташевой Е.В., аналитикам Садовниковой А.О., Тимофеевой И.Ф. выполнившим химические анализы; д. г.-м. н. Мелекесцеву И.В., к. г.-м. н. Озерову А.Ю., к. г.-м. н. Гириной О.А., к. г.-м. н. Вергасовой Л.П. (ИВиС ДВО РАН), Косорукову В.Л. (МГУ) за полезные рекомендации и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е. и др. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977, 182 с.
2. Гавриленко М.Г., Озеров А.Ю. Вулкан Горелый - эволюция магматических расплавов // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, 22-27 сентября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, Т.1, С. 308-310.
3. Кирсанов И.Т., Мелекесцев И.В. Вулкан Горелый // Действующие вулканы Камчатки, Т.2., М.: Наука, 1991, С. 294-315.
4. Кирсанов И.Т., Озеров А.Ю. Состав продуктов и энергетический эффект извержения вулкана Горелый в 1980-1981 г.г. // Вулканология и сейсмология, № 1, 1983, С. 25-42.
5. Кирсанов И.Т. Вулкан Горелый, его геологическое строение, последние извержения и состав продуктов // Вулканизм и связанные с ним процессы. Вулкани-

- ческая деятельность, ее механизм, связь с геодинамикой, прогноз извержений и землетрясений. Тезисы докладов VI Всесоюзного вулканического совещания, Петропавловск-Камчатский, сентябрь 1985, С. 32- 43.
6. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по тефрохронологическим данным) // Вулканология и сейсмология, № 3, 1987, С. 3-18
 7. Овсянников А.А., Чирков С.А. Состояние вулкана Горелый в июне 2010 г. // Вулканология и сейсмология, № 1, выпуск 15, 2010, С. 10.
 8. Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра. Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология, № 2, 1999, С. 3-24.
 9. Чашин А.А., Мартынов Ю.А. Петрология пород вулканов Горелый, Мутновский (Южная Камчатка). Владивосток: Дальнаука, 2011, 270 с.
 10. Чашин А.А., Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б., Екимова Н.И., Владимирова Т.П. Физико-химические условия формирования и эволюции позднеплейстоцен-голоценовых магм вулканов Горелый и Мутновский (Южная Камчатка) // Тихоокеанская геология, №4, Т. 30, 2011, С. 87-108.
 11. Чашин А.А., Хетчиков Л.Н., Иванов В.В., Рассказов С.В., Цуриков Л.С., Коновалова Н.П. Флюидный режим формирования магматических пород и Au-Ag оруденения Вилючинской вулcano-тектонической структуры (Южная Камчатка) // Рудные месторождения континентальных окраин, № 2, Т. 2, 2001, С. 341-366.
 12. Hedenquist J.W., Lowenstern J.B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits/ Nature 370, No 6490, 18 august, 1994, P. 519-527.
 13. Okrugin V. M., Zelenskii M.E., Maryanova V. K., Okrugina A.M., Senyukov S. L., Sergeeva S.V. Last news about volcanic activity in Kamchatka peninsula Mutnovsky and Gorely volcanoes especially // Bulletin of research center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University, Vol. 1, 2001.

OCCURENCE OF REACTION PRODUCTS OF FUMAROLE GASES WITH
PYROCLASTICS (GORELY VOLCANO, AUGUST 2011)

Kurochkina T.A.¹, Golushkova A.V.¹, Sheshkanova K.O.², Yablokova D.A.²

¹ *Vitus Bering Kamchatka State University*

² *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

The first data about chemical and mineral compositions of reaction products in the vapor-gas stream with pyroclastics, composing a wall of an active crater on a Gorely volcano is cited. Minerals from group of silicates (smectite, zeolites), sulfates (alunite, gypsum), carbonates (calcite) are diagnosed.

Keywords: Gorely volcano, sweatings, smectite, zeolites, alunite, gypsum, calcite.