

С. И. НАБОКО

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СУБЛИМАТОВ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

В статье дано краткое изложение результатов исследования минералообразований из газовых струй, собранных автором во время извержения в 1937—1938 гг. Ключевского вулкана на Камчатке.

За время извержения в 1937—1938 гг. Ключевского вулкана на Камчатке, сопровождавшегося прорывом на его склонах ряда побочных кратеров, из фумарол, локализующихся в кратерах и на изливающихся лавовых потоках, автором были собраны сублиматы, предварительный результат исследования которых помещен в настоящей заметке. Систематическое описание извержения Ключевского вулкана и его побочных кратеров дано в статьях, помещенных в бюллетенях Камчатской вулканологической станции АН СССР за 1938—1939 гг. (А. А. Меняйлов, С. И. Набоко), механизм извержения и вещество извержения описаны в работах А. А. Меняйлова и С. И. Набоко, печатаемых в трудах Лаборатории вулканологии, некоторое обобщение материала дано в статье А. Н. Заварицкого (Вестн. АН СССР, № 4—5, 1944).

Сбор сублиматов производился из побочных кратеров, прорвавшихся на склонах Ключевского вулкана на различных гипсометрических уровнях, на лавовых потоках, изливающихся из них в процессе извержения и подъема из вулканического очага новых порций магмы, из потоков, находящихся в различной стадии формирования и застывания, из фумарол, имеющих большой температурный интервал. Изучение их проливает свет на целый ряд общих вопросов, как то: состав магмы, механизм выноса наравне с летучими труднолетучих компонентов, на процесс распределения отдельных элементов в пространстве, во времени и в зависимости от температуры, а также интересно с минералогической стороны.

Лабораторные исследования велись путем оптического, в частности иммерзионного, валового химического, спектрального, рентгеноструктурного и термального анализов.

На Камчатке подобные исследования сублиматов были проведены А. Н. Заварицким на Авачинском вулкане из фумарол, действующих в то время, через 5 лет после извержения вулкана. Наши исследования интересны в том отношении, что сбор продуктов выноса производился непосредственно во время извержения.

Газ, выделявшийся в 1937—1938 гг. из вершинного кратера Ключевского вулкана и его побочных кратеров, главным образом состоял из паров воды; из других компонентов газовой смеси были определены HCl , HF , SO_2 , H_2S , CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2 , O_2 , N_2 ; и благородные газы Ar , Kr , Xe , He , Ne .

На Ключевском вулкане намечаются две группы, по классификации А. Н. Заварицкого, фумарол — группа хлора, характеризующаяся инкустициями хлоридов Na, K, NH_3 , Fe и фторидов Al, Ca, Mg, и группа серы, характеризующаяся инкустициями сульфатов Mg, Al и Fe. Разделение фумарол на группу хлора и группу серы на Ключевском вулкане оправдывается и пространственным расположением. Фумаролы группы хлора связаны с кратерами, прорвавшимися на наиболее низких гипсометрических уровнях — от 500 до 1000 м над уровнем моря. Наоборот, фумаролы группы серы локализируются в верхних кратерах от 1000 до 5000 м. Это подтверждает взгляд, что наличие в газовой фазе хлора говорит о близости магматического очага.

В фумаролах группы хлора намечается пять типов фумарол, в зависимости от их температуры.

1. Водяные фумаролы. Температура около 800° , газ выделяется из еще жидкого потока. По определениям И. З. Иванова, в них обнаружено 1000 мг H_2O на 1 л газа, — сублиматы не образуются.

2. Галитовые фумаролы. Температура 500° . Реакция нейтральная. Сублиматы — галит и сильвин, из редких элементов присутствуют Sn, Cu, Ni, Bi, V, Cr, Zr, Ga, Ba, Sr.

3. Смешанные фумаролы. Температура $500\text{--}800^\circ$. Реакция кислая. Сублиматы — нашатырь, молезит; из редких элементов присутствуют Cu, Co, Ni, Bi, V, Cr, Zr, Ga, Ba, Sr.

4. Нашатырные фумаролы. Температура около 300° . Реакция щелочная и кислая. Сублимат — нашатырь. Редкие элементы те же, что и в смешанных фумаролах.

5. Фтористые фумаролы. Температура не превышает 200° . Сублиматы — фториды Al, Ca, Mg; из редких элементов определены Be, Cu, Ca, V, Cr, Zr, Ga, Ba, Sr.

В сублиматах Ключевского вулкана определено пока только 18 минералов: из самородных — сера и графит; из галоидов — галит, сильвин, нашатырь, молезит, криптогалит и новый минерал типа ральстонита; из сульфатов — пикерингит, эпсомит, галотрихит, алуноген, чермигит, моренозит, буссенготит; из сернокислых — гипс и ангидрит; из гидро-окислов — лимонит.

Ввиду того, что сублиматы представляют собой тонкую смесь различных по составу веществ, изучение их весьма затруднительно, и часть минералов до сих пор осталась не определенной. Измеренные иммерзионным методом показатели преломления не подходят ни к одному из известных минералов. Возможно, мы здесь имели ряд новых разновидностей минералов, как это оказалось в случае определенного нами фтористого минерала, приближающегося к ральстониту, но богатого кальцием; в некоторых случаях, вероятно, имеется изоморфный ряд минералов, как это установил А. Н. Заварицкий для сульфатов Аначинского вулкана (галотрихит-пикерингит). Необходимо дополнительное исследование методом микрохимического и спектрального анализов.

В газах и сублиматах Ключевского вулкана извержения 1937—1938 гг. химическим и спектральным путем определено 39 элементов (спектральный анализ произведен в лаборатории С. А. Боровика). Другими авторами (В. А. Влодавец, Кулаков и др.) в сублиматах из паразитических кратеров, прорвавшихся на склонах Ключевского вулкана в 1932 г., определено еще семь элементов. На геохимической диаграмме (фиг. 1), построенной по А. Н. Заварицкому, кружками обведены элементы, обнаруженные в газах, жирной линией — элементы, встречающиеся в сублиматах в количестве больше 0,1%, жирным пунктиром — элементы, встречающиеся в количествах, равных и меньше 0,1%, и тонкой линией — элементы, обнаруженные в следах.

Среди элементов возгонов наряду с элементами, которые считаются

характерными для основной магмы, встречаются элементы, считающиеся характерными для кислой магмы, как например, F, Sn, Mo, W, Pb, Ag, Zn и др. Необходимо отметить, что базальтовая магма извержения 1937—1938 гг. Ключевского вулкана относительно богата фтором.

При сравнении состава лавы и сублиматов отмечается, что такие элементы как Ba, Ag, Co, Sn, Bi, Pb, Mo и Zn в лаве совсем не обнаружены, а целиком улетучиваются и фиксируются в сублиматах. Однако часть летучих компонентов сохранилась в лаве, и в частности галлия больше в ней, чем в сублиматах.

(H)																	
He	Li	Be	B	C	N	O	F										
Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl										
Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sb	Te	I		
Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Hf			Ra	Ac	Th	Pa	U										

6 газам
< 0.1%

Фиг. 1

Интересно поведение Ni. Этот элемент обнаружен и в лаве, и в сублиматах, однако в лаве количество его убывает в зависимости от удаления от магматического очага, в то время как в сублиматах количество его увеличивается. Ni мигрирует в верхние слои, тем самым лава становится беднее этим элементом.

Подобно тому, как в рудных месторождениях осаждение руд в пространстве происходит зонально в зависимости от растворимости металлов, так и в случае отложения сублиматов из газовых струй происходит зональное распределение элементов, регулируемое различной их летучестью. Правило Сен-Клер — Девиля, согласно которому происходит изменение газовой фазы в зависимости от удаления от очага, иллюстрируется и этим примером извержения Ключевского вулкана. Заслуживает упоминания распределение в пространстве более редких элементов. В сублиматах нижних кратеров, состоящих из хлоридов Na, K, NH_4 , Fe фиксируются Ba, Sr, Be и Bi, в сублиматах верхних кратеров, состоящих из сульфатов Al и Mg, фиксируется Cu, Co, Ni, Pb, Mo.

Наравне с распределением элементов в пространстве наблюдается изменение и во времени. Здесь необходимо учесть две стороны вопроса — изменение газовой фазы во времени в процессе остывания и кристаллизации лавового потока, с другой стороны, изменение газовой фазы во времени в связи с излиянием из вулканического очага различных порций магмы.

Так, например, сублиматы первой порции лавы, излившейся из кратера Билокая, по сравнению с сублиматами, образующимися в fumarолах на лавовом потоке, излившемся спустя несколько месяцев в очередную вспышку деятельности этого кратера, обогащены Cu, Co, Ni и обеднены Ba, Sr и Ti.

При сравнении химического состава сульфатов и фторидов с составом вмещающего базальта обнаружено, так же как и в случае сульфатов Авачинского вулкана, на что обращал внимание А. Н. Заварицкий, что в вынесенных на поверхность отложениях сульфатов и фто-

ридов относительные количества оснований следуют примерно тому же порядку, в каком мы их находим в первоначальной породе.

Это говорит о том, что в этом случае вещество для кристаллизации минералов сублиматов позаимствовано из самой породы. Однако в сульфатах мало или отсутствует Са, в то время как в фторидах мало или отсутствует Fe. В этом можно усматривать особенности воздействия на базальт газов, с одной стороны, сернистых, и с другой — фтористых. В случае воздействия фтором железо из базальта выно-
сится, т. е. становится подвижным, при воздействии сернистых газов подвижным становится кальций.

Настоящая краткая заметка не имеет целью изложение полных результатов исследования, но предварительные данные изучения сублиматов, позволяют судить о некоторых вопросах вулканизма. Можно отметить, что базальтовая магма содержит в рассеянном состоянии большую часть элементов периодической системы Менделеева, и в ней наравне с элементами, характерными для основной магмы, содержатся и элементы, признанные характерными для кислой магмы. Вынос из магмы легколетучих и вместе с ними труднолетучих компонентов происходит избирательно, и распределение их в пространстве и во времени происходит закономерно, отвечая в общем старому правилу Сен-Клер — Девиля. Необходимо также иметь в виду, что при кристаллизации продуктов минералообразований из фумарол, наравне с выносом вещества из магмы, происходит извлечение его из породы, через которую проходят газы.

S. I. NABOKO

INVESTIGATION OF THE SUBLIMATES OF THE KLYUCHEVSKOY VOLCANO

Summary

Mineral formations from fumaroles localized in craters and on lava flows were collected by the winter during 1937—1938 eruption of the Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) when a number of adventive craters broke out on its slopes. These were investigated sublimates from craters at different distances from the central core, from their lava flows formed by portions of magma issuing from the core one after another; from flows at various stages of formation and cooling; from fumaroles with wide temperature range. This material allows to get an idea of the distribution of elements in space, time and their depending from temperature.

The basaltic magma of the Klyuchevskoy volcano erupted in 1937—1938 contains the greatest part of the elements Mendeleev's periodical system, elements characteristic of basic magma as well as those considered as characteristic of acid magma.

During the crystallization of the products of mineral formation from the fumaroles, along with the carrying out of substance from the magma there is taking place an extraction of substance from rocks through which the gases escape, some peculiarities being noticed due to the action of gases of different composition.