

Л. Г. КВАША

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ВОЗГОНОВ С ЛАВОВОГО ПОТОКА  
И КРАТЕРОВ ПРОРЫВА «ЮБИЛЕЙНОГО»  
КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА**

Во время экспедиции 1946 г. при посещении побочных кратеров Ключевского вулкана А. Н. Заварицкому удалось собрать несколько образцов возгонов. Большинство их было собрано в кратерах и лавовом потоке Юбилейного прорыва (фиг. 1), образовавшихся при эксцентрическом извержении Ключевского вулкана в июне 1945 г. (Шийн, 1946).



Фиг. 1. Общий вид взрывчатых кратеров Юбилейного прорыва.

Фото Б. И. Шийна.

Возгоны были собраны около фумарол на внешнем склоне взрывчатого кратера Обручева вдоль линии прорыва, на дне кратера Левинсон-Лессинга, около фумарол на внешнем склоне лавового конуса Заварицкого и на потоке, вылившемся из кратера его (фиг. 2).

О характере фумарол, около которых были собраны возгоны, и их распределении, по наблюдениям непосредственно после их появления, изложено в работах Б. И. Шийна (Шийн, 1946, 1948).

По возвращении в Москву А. Н. Заварицкий передал мне эти образцы возгонов на исследование. Кроме того, им были переданы также три образца с кратера Билюкая, представленные белоснежным образцом из галита и спльвина и зеленым палетом содержащего медь минерала,

и один образец с кратера Туйлы, представленный хлоридами с примесью флюорита.

Образцы были исследованы в течение зимы 1946-47 г. Помимо оптического исследования, возгоны были исследованы спектрально, частично качественно химически, а также методом облучения катодными лучами.

После обсуждения с А. Н. Заварицким полученных в результате этих исследований данных, мы пришли к заключению, что примененные в данном случае обычные методы минералогического исследования недостаточны для полного и точного определения минералогического состава возгонов. Исследование возгонов требует разработки новых специальных методов исследования.



Фиг. 2. Сбор возгонов в кратере Заварицкого.

В центре — акад. А. Н. Заварицкий, справа — акад. С. С. Смирнов.  
Фото Б. И. Пийпа.

Поэтому приведенные ниже результаты следует рассматривать только как предварительные. Однако поскольку возгоны являются чрезвычайно ценным и одним из наиболее интересных продуктов вулканической деятельности, то опубликование даже этих предварительных данных представляется целесообразным.

Данные о месте взятия возгонов и об их виде в поле, а также фотографии 1 и 2 были предоставлены мне Б. И. Пийпом, участником экспедиции 1946 года. Спектральные анализы сделаны проф. С. А. Боровиком в лаборатории ИГи АН СССР, качественные химические определения — сотрудником Института геохимических проблем АН СССР К. П. Флоренским.

Облучение возгонов катодными лучами проведено в лаборатории физических свойств минералов ИГи АН СССР с помощью Н. Н. Батыревой. Всем помогавшим мне в работе я выражаю благодарность.

С глубокой благодарностью я вспоминаю А. Н. Заварицкого, предоставившего мне возможность познакомиться со столь интересным материалом, как вулканические возгоны.

## ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Образцы возгонов предварительно просматривались под бинокулярной лупой. Из установленных под лупой неоднородных участков изготовлялись иммерсионные препараты, которые исследовались под микроскопом.

Небольшое количество образца растворялось в воде. В зависимости от растворимости изготовлялись иммерсионные препараты из нерастворимого осадка и из выпаренных на предметном стекле капель фильтрата (или только из последнего) для просмотра под микроскопом. Перекристаллизация служила, как известно, лишь вспомогательным способом для определения валового состава возгона.

Небольшое количество возгона, предварительно очищенного от видимых простым глазом примесей, поступало на спектральный анализ и качественное химическое определение главным образом анионов.

Кусочки возгонов общим объемом до 1 см<sup>3</sup> облучались катодными лучами. Облучение катодными лучами было проведено с целью выяснения однородности возгонов (табл. 3).

Большинство исследованных возгонов представляет собой весьма тонкозернистую смесь (веществ) минералов. Поэтому для большинства составных частей возгонов удалось измерить только приблизительный показатель преломления, позволивший определить большинство минералов лишь условно.

## ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ ВОЗГОНОВ

При описании возгонов образцы сгруппированы по месту их взятия.

Образец возгона с внешнего склона кратера Обручева [3]<sup>1</sup>.

В поле возгон наблюдался на поверхности раскаленных трещин в виде корок, инкрустирующих лаву.

Макроскопически образец возгона представляет белые, участками желтоватые, корочки тонкого строения, пронизанные мелкими трубчатыми дырочками, вокруг которых наблюдается концентрическое отложение вещества. Поверхность корок неровная, но гладкая, «почковидная», участками «мелкокудрявая». Довольно обильны черные точечные включения.

Под лупой видно, что главная масса представлена тонкими скорлуповатыми образованиями, среди которых наблюдаются участки желтого цвета, полупрозрачные, со стеклянным блеском и обильно пронизанные мелкими трубчатыми порами (фиг. 3). Среди многочисленных черных мелких включений встретился темнозеленый обломок, похожий на пироксен.

Под микроскопом видно, что возгон состоит из агрегата бесцветного изотропного минерала. Среди мелких бесформенных зерен наблюдались сростки мелких кубических кристаллов и осколки по спайности. Иногда на зернах можно увидеть каймы и неправильные вростки изотропного вещества, но с меньшим преломлением. Кроме того, наблюдаются тончайшие вростки двупреломляющего минерала и непрозрачного пигмента.

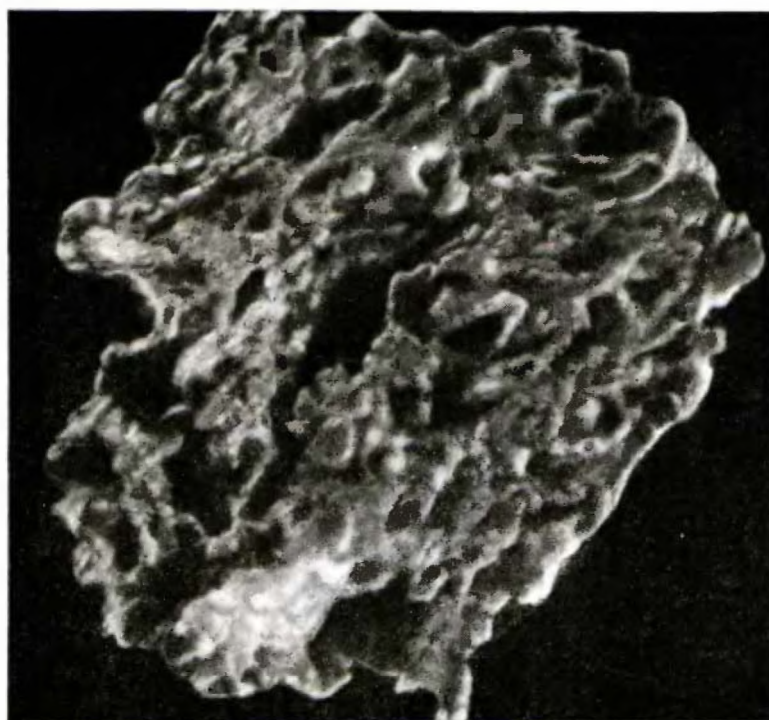
Показатель преломления изотропного минерала, составляющего главную массу возгона, измеренный с точностью до  $\pm 0,002$ , равен 1,38, а изотропных кайм, вростков и осколков — 1,431.

Возгон почти нерастворим в воде (см. табл. 2).

<sup>1</sup> Здесь и ниже цифры в квадратных скобках обозначают номера образцов.

Сопоставляя данные микроскопического, спектрального и химического анализов (последние приведены для всех образцов в табл. 1 и 2), можно заключить, что возгон состоит преимущественно из фторидов, среди которых определяется флюорит. Вещество, составляющее главную массу, по показателю преломления может быть отнесено либо к ральстониту (?) (Набоко, 1941), либо к оналу. Возможно, оно представляет смесь фторида и онала.

Образцы возгонов с кратера Левинсон-Лессинга [1, 6, 8, 10, 11]. Образцы были собраны вокруг фумарол на дне кратера.



Фиг. 3. Корочки возгонов фторидов.

Увек. около 8. Обр. № 3. Кратер Обручева.

Образец 1. В поле представлял снежнобелый возгон. Макроскопически это тонкие корочки белого, слегка сероватого, «грязного» цвета с пятнами розовой окраски, обычно густо пронизанные многочисленными трубчатыми порами. Под лупой видны крупнопористые, «воздреватые» корочки, но поры расположены довольно редко. На поверхности корочек наблюдается тонкая пленка, повидимому, кристаллического строения, однако отдельные кристаллики под лупой не различимы.

Под микроскопом видно, что возгон состоит из смеси минералов. Различимы следующие из них: 1) двупреломляющий минерал, обычно образующий тонкозернистый агрегат, редко в виде отдельных пластинок; 2) изотропный минерал, который пронизывает первый; 3) двупреломляющий минерал с более высоким преломлением, чем первый и 4) изотропный минерал, в препарате обычно в виде осколков кристаллов с резко выраженной спайностью по октаэдру (?), с очень низким показателем преломления и с кажущимся зональным строением из-за расположения по

Таблица 1

Данные спектрального анализа возгонов															
Местонахождение и элемент	Кратер Обручева 3	Кратер Левинсон-Лессинга					Кратер Заварицкого		Лавовый поток, вытекший из кратера Заварицкого						
		1	6	8	10	11	12	14	2	13	15	4	5	9	
Na															
K															
Mg															
Ca															
Str															
Ba															
Al															
Si															
Ti															
Cr															
Mn															
Fe															
Co															
Ni															
Cu															
Zn															
Sa															
Ag															
As															
Pb															

1 — главная составная часть; 2 — очень сильные линии; 3 — сильные линии (значительное содержание); 4 — выше средних и средние линии; 5 — слабые линии; 6 — очень слабые линии и следы.

трещинкам спайности изотропного вещества с большим показателем преломления, близким 1,460. Ниже приводим оптические свойства исследованных минералов.

№ минерала в тексте	Оптические свойства	Определение минерала
1	$N_m = 1,526 \pm 0,002$	Глауберит (?) или гипс (?)
2	$N$ около 1,460	Квасцы
3	$N_m = 1,560 \pm 0,01$ ; $2 V = + 40^\circ$	Бассанит (?)
4	$N = 1,424 \pm 0,004$	Флюорит

Таблица 2

## Данные качественного химического анализа возгонов

№ п/п.	№ обр.	Место взятия образца	Растворимость в воде	NH <sub>4</sub> '	SO <sub>4</sub> '	Cl'	F'	B'	Примечание	
1	3	Кратер Обручьева, внешний склон конуса	Почти нерастворим	—	—	Следы	+++	—		
2	1		Легко растворим. Кислая реакция	—	+++	—	—	—	Обнаружены Fe, Mg (Na), Al	
3	6		Кратер Левинсон-Лессинга, дно кратера	Частично растворим	—	+++	—	—	—	
4	8			Реакция слабо кислая	—	+++	Следы	—	—	Обнаружены Cu, Fe
5	10			Частично растворим	—	+++	—	—	—	Обнаружено Fe
6	11			Легко растворим. Реакция кислая	—	+++	—	—	—	
7	12	Кратер Заварицкого, внешний склон конуса	Нерастворим	—	—	—	+++	—	Обнаружены Fe, Al, Mg	
8	14		Частично растворим	—	—	+++	+++	—		
9	2		Реакция слабо кислая	—	+++	+++	—	—	Присутствует Cu; Ni — нет	
10	13	Правый борт фарватера потока Лавовый поток, вытекший из кратера Заварицкого	Трудно растворим	—	—	++	+++	—		
11	15		Очень мало растворим	—	—	+	+++	—		
12	4		Реакция слабо кислая	—	+++	—	—	—	Присутствует Cu	
13	5		Частично растворим	++	+++	+++	?	—	Присутствует Fe	
14	9		Частично растворим	+++	—	+++	+++	—		

Условные обозначения: +++ очень много; ++ много; + мало; — не обнаружено.

Возгон (обр. 1) почти полностью легко растворяется в воде; реакция кислая.

В нерастворимом осадке наблюдаются обломки-осколки до 30  $\mu$  в поперечнике изотропного минерала с октаэдрической (?) спайностью, с  $N=1,43 \pm 0,005$ . По спайности в нем располагается изотропное вещество с меньшим показателем преломления ( $N=1,38$ ), что создает впечатление зональной структуры.

Выпаренный фильтрат представляет очень хрупкое вещество. В нем под микроскопом различимы: 1) изотропный минерал, обычно пропитанный черным пигментом, с показателем преломления  $N=1,485 \pm 0,003$ , вероятно, натровые квасцы и 2) бесцветный двупреломляющий минерал

Таблица 3\*

## Свечение возгонов в катодных лучах

№ п/п.	№ образца	Характер свечения при облучении	Примечание
1	3	Точечное зеленовато-голубое.	
2	1	На большей площади — фиолетовое, меньшей — светложелтое.	
3	6	Пестрое свечение: розовое, светло-зеленое и желтое.	
4	8	Пестрое свечение: розовое, фиолетовое, зеленое.	Наблюдается послесвечение.
5	10	Сплошное светлооранжевое.	Наблюдается послесвечение.
6	11	Пестрое свечение: фиолетовое, розовое и зеленое (точками).	Наблюдается послесвечение.
7	12	Слабое свечение: участками — голубовато-зеленое, точками — белое.	
8	14	Не светится.	
9	2	На большей площади — зеленое (зеленые участки) и пятнышками — красное (светлорозовые участки) и желтое (зеленые участки).	
10	13	Не светится.	
11	15	Точечное голубовато-зеленое.	
12	4	Пестрое свечение: яркозеленое (беловатые участки), сиреневое и оранжевое.	
13	5	Пестрое свечение: фиолетовое (серые участки), розовое и синее.	
14	9	Не светится.	
15	7	Точечное зеленое.	Кратер Туила.
16	11—6	Сильно фиолетовое и зеленоватое.	Кратер Вилюкай. Наблюдается послесвечение. После облучения белый образец изменил окраску на фиолетовую.

в хороших характерных пластинчатых кристалликах до 40  $\mu$  длиной и 10  $\mu$  шириной, с  $N_m = 1,52 \pm 0,003$  — гипс.

Образец 6. Возгон в поле наблюдался в виде белой накипи с голубоватыми пятнами. Образец представлен белыми тонкими фарфоровидными корочками, пятнисто окрашенными в нежноголубой, реже розовый и желтый цвет. Поверхность корочек неровная, натечная.

Под лупой видно, что это пятнисто окрашенный в различные цвета сахаровидный агрегат, ноздреватый. Поверхности полостей покрыты тонкой, повидимому, кристаллической корочкой. В кусочке желтого цвета поверхность натечная. Возгон пронизан обильными темными и красноватыми мелкими включениями, вероятно, кусочками лавы.

Под микроскопом различимы три минерала: 1) бесцветный двупреломляющий минерал, тонкопластинчатый, слюдоподобный. Отдельные

\* О месте ваяния возгонов с кратеров и лавового потока Юбилейного прорыва см. табл. 1 и 2.

пластинки достигают 40  $\mu$  в длину и 5—15  $\mu$  в ширину. Иногда этот минерал образует агрегаты как бы натечной формы. Он имеет относительно удлинения прямое погасание, удлинение положительное, одноосный, положительный (?).  $N_g'$  — около 1,60,  $N_p'$  = 1,58 ( $\pm 0,004$  — бассанит (?)) или натровый алуниит (?); 2) изотропный минерал с показателем преломления 1,38 — опал (?); 3) бесцветный изотропный минерал, иногда в мелких кубиках с показателем преломления  $1,55 \pm 0,002$ .

Возгон частично растворяется в воде. В нерастворимом осадке под микроскопом различимы пластинчатый минерал — алуниит натровый — и изотропный минерал с показателем преломления, равным 1,38, — опал (?).

В иммерсионном препарате из выпаренного фильтрата наблюдается агрегат длиннопластинчатых кристаллов гипса.

**Образец 8.** В поле возгон наблюдался в виде белой накипи с голубоватыми пятнами. Образец представлен белыми и бледно-голубыми фарфоровидными корочками. Иногда некоторые участки окрашены в бледно-розовый и светложелтый цвет. Этот возгон очень похож на обр. 6.

Под лупой он представляется в виде слегка голубоватой, иногда окрашенной в другие цвета, стекловидной массы, с поверхности как бы усыпанной белоснежным порошком.

Под микроскопом видно, что возгон состоит из тонкого агрегата, в котором различимы двупреломляющий минерал, составляющий главную массу и, в меньшем количестве, изотропный минерал.

Двупреломляющий минерал, иногда в зернышках до 20  $\mu$  в поперечнике, имеет показатель преломления  $N_m$  около 1,568. Минерал одноосный, положительный или с малым углом оптических осей — бассанит (?).

Изотропный минерал, кажущийся буроватым, содержит микроскопические вrostки веретенообразной формы. Показатель преломления минерала  $N = 1,38 \pm 0,02$ . Веретенообразные вrostки также изотропны, показатель преломления их выше окружающего вещества.

Возгон частично растворяется в воде. На вкус соленый. В нерастворимом осадке изотропный минерал. В фильтрате под микроскопом наблюдается войлок из тонких кристаллов гипса и тонкий агрегат двупреломляющего минерала с  $N_m$  около 1,577.

**Образец 10.** В поле возгон имеет вид снежнобелых тоненьких корочек. Образец представлен тоненькими белыми корочками, хрупкими, с довольно крупными полостями. Некоторые участки окрашены в бледный розовато-желтоватый цвет. Под лупой видно, что это сильно пористые корочки из стекловидных зерен желтоватого цвета, нередко сильно загрязненные темными частичками лавы, на верхней поверхности покрытые белыми порошковидными частичками.

Под микроскопом в тонком агрегате возгона различим бесцветный изотропный (?) минерал в неправильных зернышках, с показателем преломления, равным  $1,53 \pm 0,004$ , — лангбейнит (?). Он пронизан мельчайшими пузырьками и тонким черным субмикроскопическим пигментом. Возгон частично растворяется в воде. На вкус кисловатый.

Под микроскопом видно, что после растворения включения, кажущиеся черными, исчезли, а минерал, их включающий, окрасился в зеленый, участками буроватый цвет; показатель преломления его повысился до  $1,64 \pm 0,004$ .

Из фильтрата выкристаллизовалось много кристаллов гипса и изотропного минерала с показателем преломления  $N = 1,46 \pm 0,004$  — калиевых квасцов. Эта изотропная масса участками окрашена в желтый цвет, очевидно, за счет нацело растворившихся темных включений.

**Образец 11.** Наблюдался в поле в виде мучнистого белого налета. Образец представлен агрегатами тонкого вещества, при надавливании

легко сминающимся в комочки. Он напоминает стеклянную вату (фиг. 4). Главная масса белого цвета, местами окрашена в различные цвета бледных тонов.

Под лупой видно тонкокристаллическое строение возгона. Он состоит из белых очень тонкоигловчатых кристалликов-волосков, образующих звездчатые сростки, нарастающие на агрегат белых зерен без заметных кристаллографических очертаний. Кроме того, наблюдаются бесцветные прозрачные кристаллы, обычно в виде сростков.

Под микроскопом различимы: 1) Тонкошестоватые кристаллики (фиг. 5) размером  $70-80 \times 20 \mu$ , образующие радиально лучистые пучки. Более тонкие кристаллики-фибры образуют спутанноволокнистый агрегат. Кристаллики имеют косое погасание относительно удлинения около  $30^\circ$ , малый угол оптических осей, положительный. Минерал сильно



Фиг. 4. Снежнобелый возгон сульфатов. Различаются отдельные «волоски» — игловики алуногена, которые видны на краях кусочков.

Увел. около 8. Обр. № 11. Кратер Левинсон-Лессинга.

гигроскопичен и легко меняет показатель преломления.  $N_m = 1,470 \pm 0,002$  — алуноген (?).

2) Низкодвупреломляющий минерал, пластинчатый и волокнистый, с показателем преломления  $N_m$  около 1,536, одноосный или с очень малым углом оптических осей — глауберит (?).

3) Изотропный минерал, выполняющий промежутки, и иногда в мелких кубических кристалликах буровато-зеленоватого оттенка с показателем преломления  $N = 1,453 \pm 0,002$  — квасцы.

4) Изотропный минерал с показателем преломления около 1,430 — флюорит (?).

Возгон почти полностью легко растворяется в воде. Вкус едкий. В препарате из нерастворимого осадка наблюдается изотропный минерал со спайностью. Он в тонком срастании с более преломляющим, которого значительно меньше по количеству. Главная масса имеет показатель преломления  $N = 1,431 \pm 0,004$  — флюорит (?).

Образцы возгонов с кратера Заварицкого. Возгоны, собранные около fumarol на внешнем склоне конуса [12, 14].

Образец 12. В поле — снежнобелый сухой возгон. Образец возгона представлен фарфоровидными корочками, пятнисто окрашенными

в светлоканареечно-желтый цвет, с «кудрявой» поверхностью снежно-белого цвета.

Под лупой видны неравномерно окрашенные корочки натечного строения. Поверхность их местами густо покрыта, как бы посыпана, тонким порошком, напоминающим сахарную пудру.

Под микроскопом видно, что возгон однороден и состоит из изотропного буроватого (?) минерала с показателем преломления  $N=1,38\pm 0,002$ . На нем наблюдаются облегающие его корочки также изотропного минерала, но с большим показателем преломления. Возгон лишь частично растворяется в воде, безвкусен.

В нерастворимом осадке изотропный минерал. В препарате из выпаренного фильтрата наблюдается изотропный желтоватый минерал в виде тонких пластинок с показателем преломления  $N=1,43-0,01$  и изотропный минерал в круглых зернышках с  $N=1,452$ .

Образец 14. В поле — это влажный возгон иржежелтого цвета.

Образец представлен неправильными корочками канареечно-желтого цвета. Изредка отдельные участки корочек окрашены в огненно-оранжевый цвет. Под лупой видны ноздреватые корочки желтого цвета, изредка оранжевые. Поверхность покрыта порошковидной массой, среди которой различимы очень мелкие белые кристаллические частички.

Под микроскопом видно, что порошок из возгона состоит из порошков из возгона состоит из неправильных зернышек следующих минералов: 1) изотропного минерала, слегка зеленоватого, часто содержащего включения черного вещества, с показателем преломления  $N=1,38$ ; 2) изотропного минерала в виде округлых зернышек и часто образующего каймы на первом минерале, но с большим преломлением, и флюорита (?); 3) двупреломляющего минерала, обычно в виде узких табличек, выросших в первом. Он обладает прямым относительно удлинения погасанием и средним показателем преломления  $N\leq 1,333$ , очевидно, малладрита (?). В воде возгон растворяется частично. На вкус едкий (терпкий и соленый). В препарате из нерастворимого осадка осколки изотропного минерала с  $N=1,38-0,02$  — опала (?) или ральстонита (?). В препарате из выпаренного фильтрата наблюдаются кристаллы бесцветного анизотропного минерала, иногда образующие крестообразные сростки. Обычно они с поверхности усыпаны изотропными шариками и даже как будто покрыты оболочкой из них.  $N$  минерала меньше 1,333. Минерал отрицательный, двуосный (?) — малладрит (?).

Покрывающие его округлые «тельца» растворяются в некоторых иммерсионных жидкостях, окрашивая их в желтый цвет. Возгон «проедает» бумагу (бумага, на которой возгон лежал шесть лет, рассыпалась).

Возгоны фумарол лавового потока кратера Заварицкого [2, 13, 15, 4, 5, 9].



Фиг. 5. Агрегаты и отдельные иголки алуногена. Иммерсионный препарат.

Жидкость с  $N$  около 1,490. Увел. 150.  
Тот же образец, что на фиг. 4.

**Образец 2.** В поле — травяно-зеленый возгон. Образец представлен тонкими пестроокрашенными корочками, покрывающими мелкие обломки-крошки шлаковидной лавы. Преобладает бирюзово-голубой и зеленый цвет. Под лупой видны тонкие разноцветные (зеленые, голубые, розовые, бурые) корочки, местами как бы спекшиеся с кусочками стекловатого шлака, на которых они отлагались. Обычно видно концентрическое, скорлуповатое строение корочек.

Под микроскопом видно, что возгон состоит из смеси минералов: 1) бесцветного, изотропного минерала в правильных кубиках, со штриховкой на гранях. Длина ребер кубов обычно около 0,1 мм. Показатель преломления  $N=1,548\pm 0,004$ . Это галит; 2) бесцветного изотропного минерала в неправильных зернах, образующих участки в первом минерале;  $N$  около 1,496 — сильвина; 3) зеленого плеохроичного минерала. Он одноосный, положительный.  $Ng'=1,601\pm 0,002$ ,  $Np'=1,548\pm$ . Схема абсорбции:  $Ng$  — густозеленый, по  $Np$  — почти бесцветный; кроме того 4) наблюдаются тонкокристаллические пленки красного цвета — гематита (?).

В воде возгон растворим почти полностью. Вкус горький, вязущий. В нерастворимом осадке, в который попали главным образом кусочки лавы, наблюдаются очень редкие комочки из тонких зернышек зеленого изотропного минерала с показателем преломления больше 1,780.

В выпаренном фильтрате обильные кубические кристаллики галита, цементирующие два других минерала: 1) бесцветный, двуосный, положительный,  $2V$  небольшой, со средним  $Nm=1,494\pm 0,002$  — цианохронит (?) и 2) зеленый минерал с синей интерференционной окраской, положительный, с углом оптических осей около  $50^\circ$ ,  $r > v$  и  $Ng'=1,616$ ,  $Np'=1,546$ .

**Образец 13.** Желтый возгон. Образец представлен мелкими тонкими корочками цвета желтка в виде налетов на кусочках лавы.

Под лупой видно, что корочки неоднородны по окраске и прозрачности. Они яркожелтого янтарного цвета различной интенсивности. Встречаются прозрачные участки. На некоторых кусочках виден тонкий красноватый налет. Как обычно, поверхность корочек возгона как бы посыпана очень тонким белым порошковидным веществом.

Под микроскопом различимы изотропный минерал канареечно-желтого цвета с  $N=1,434\pm 0,003$  и бесцветный изотропный минерал с показателем преломления, близким первому — флюорит (?).

В воде возгон частично растворяется. Вкус кислый. В нерастворимом осадке изотропный минерал с  $N=1,38$  и редкие осколки изотропного минерала — флюорита.

В препарате из выпаренного фильтрата видны два минерала: яркожелтые зерна, изотропные, с  $N$  около 1,500 и незначительное количество бесцветных двупреломляющих кристаллов с  $Nm$  больше 1,552.

**Образец 15.** Желтый возгон. Образец представлен корочками с очень бугристой поверхностью, разнородно окрашенными (желтые, розовые, слегка сиреневые).

Под лупой видна очень неровная поверхность корочек возгона (фиг. 6), неравномерно окрашенного в различные цвета. Участками поверхность покрыта пленкой очень тонкого строения.

Под микроскопом в порошке из возгона различимы бесцветный минерал с хорошей спайностью, обычно в виде спайных осколков (фиг. 7), изотропный, с  $N=1,428\pm 0,004$  — флюорит, а также бесцветный и изотропный минерал с  $N=1,38\pm 0,02$ , часто отлагающийся по спайности в первом минерале в виде зон — опал или фторид.

Очень незначительная часть возгона растворяется в воде. Возгон безвкусен. В нерастворимом осадке наблюдаются оба изотропных минерала. Фильтрат дал слабую реакцию на  $Cl$ .

Ниже описываются образцы возгонов фумарол, расположенных на правом борту фарватера потока [4, 5, 9].



Фиг. 6. Корочки возгонов фторидов.  
Увел. около 7. Обр. № 15. Кратер Заварицкого.



Фиг. 7. Осколки по спайности кристаллов флюорита  
из образца возгона № 15.

Иммерсионный препарат. Жидкость с  $n$  около 1,490.  
Увел. 150. Кратер Заварицкого.

Образец 4. Возгон бирюзового цвета. Образец представлен мелкими, неравномерно окрашенными тонкими корочками с пачечной очень неровной поверхностью. Наблюдаются участки белые, светло-голубые, зеленоватые, яржолто-зеленые, участками покрытые бурыми

налетами. Под лупой видны патечные образования голубовато-зеленой окраски. Как обычно, имеются включения кусочков стекловатых шлаков.

Под микроскопом образец представлен дендритовидными агрегатами из тонкопластинчатого бесцветного или зеленоватого минерала и кубиков галита (изотропный,  $N=1,545$ ) и сильвина (изотропный,  $N=1,490$ ), пропитывающего остальные минералы. Зеленый двупреломляющий минерал, двусный, положительный (?).  $N_g=1,611\pm 0,004$ ,  $N_m=1,602$  и  $N_p=1,585$  — эвхлорин (?) (Zambonini, 1935). Бесцветный тонкочешуйчатый минерал с  $N_m=1,522$  — глауберит (?). В воде возгон полностью растворяется. На вкус соленый, горьковатый. Из фильтрата выкристаллизовались кристаллы двупреломляющего минерала, двусного ( $2V$  около  $50^\circ$ ), положительного, с  $N_m=1,494$  — алуноген (?).

Образец 5. В поле — «седой» возгон елочной структуры. В образце мелкие корочки и крошки серого, зеленого и розоватого цвета различных оттенков.

Под лупой очень похож на обр. 4, но в обр. 5 различимы отдельные кристаллики роста, напоминающие снежинки.

Под микроскопом видно, что образец [5] состоит из агрегатов, часто дендритовидных, тонких пластинок бесцветного минерала и меньшего количества зеленоватого минерала в мельчайших зернышках и двух изотропных минералов.

Минерал дендритовидных агрегатов двупреломляющий, с  $N_p=1,485$  — афтиталит (?). Зеленый минерал с  $N_g=1,601$ , в удлиненных зернышках гаснет прямо, удлинение положительное — эвхлорин (?).

Изотропные минералы представлены галитом ( $N=1,540$ ) и чермигитом (?) ( $N=1,460$ ).

Возгон растворяется в воде. На вкус соленый. Из фильтрата выкристаллизовались пластинчатые кристаллики гипса, неправильные зерна одноосного (?) положительного минерала с  $N_p=1,492$  — афтиталита, составляющего главную массу галита, и кристалликов зеленого минерала с очень большим  $N$  — эвхлорина (?).

Образец 9. В поле — оранжево-красный возгон. Образец представлен довольно толстыми корочками (около 3 мм) губчато-натечного строения, на верхней поверхности обычно оранжевого цвета, снизу — красного.

Под лупой представляется яркожелтым образованием, сильно пористым, сахаровидным, с бугристой поверхностью. В разрезах отдельных бугорков — «почек» видны черные мелкие включения, распределяющиеся концентрически.

Под микроскопом в порошке из возгона различимы бесцветный изотропный минерал, участками окрашенный в желто-зеленый цвет, и в значительно меньшем количестве яркожелтый густо окрашенный двупреломляющий минерал. Изотропный минерал имеет вид уплощенных кубических кристаллов с  $N=1,636\pm 0,002$ : это нашатырь. В желтом (рыжем), двупреломляющем минерале удалось установить  $2V=90$ , сильную дисперсию и  $N_m\approx 1,760$ . По этим оптическим свойствам и данным, приведенным в табл. 1, этот минерал может быть отнесен к кремсерпиту (?), но даже мелких удлиненных плоских кристалликов, как описывает Лакруа (Lacroix, 1907), не наблюдалось; в исследованном возгоне он в виде мелких зерен до 0,08 мм в поперечнике, без кристаллографических очертаний. Большая часть возгона растворяется в воде. На вкус соленоедкий. В нерастворимом осадке наблюдаются обломки зерен с  $N$  около 1,430, возможно, флюорита (?). В фильтрате лимонно-желтого цвета, соленом на вкус, наблюдаются бесцветные крупные кубы нашатыря, иногда анизотропные по краям кристаллов, и изотропный минерал с  $N=1,405$  и кристаллы двупреломляющего минерала.

**О МИНЕРАЛОГИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ИССЛЕДОВАННЫХ ВОЗГОНОВ**

Как видно из данных приведенного исследования, те из минералов возгонов, которые удалось определить с той или иной точностью, относятся к сульфатам, галоидам и окислам.

Минералы этих классов отлагаются порознь или вместе, в зависимости от положения фумарол (Пийп, 1946, 1948).

Состав минералов и их распределение приведены в табл. 4.

Таблица 4

Местоположение фумарол	Минералы возгонов
Внешний склон кратера Обручева	Флюорит — $\text{CaF}_2$ [3], ральстонит * (?) — $\text{Na}_3(\text{Al, Mg})_{16}(\text{FOH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ [3] или опал — $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [3]. Может быть, смесь фторида и опала.
Дно кратера Левинсон-Лесинга	Глауберит — $\text{Na}_2\text{Ca}[\text{SO}_4]_2$ [1, 11], лангбейнит (?) — $\text{K}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2$ [1, 11], гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (?) [1], бассанит — $\text{CaSO}_4$ [1, 8], алуноген — $\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ [11], квасцы — $(\text{Na, K})\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [1, 11], алунит (?) — $\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$ [6], Na-алунит — [6, 8], ральстонит (?) — [6, 8], опал — [6, 8], флюорит — $\text{CaF}_2$ [1, 11 ?], галит — $\text{NaCl}$ , лавренсит (?) — $\text{FeCl}_2$ .
Внешний склон кратера Заварицкого	Флюорит — $\text{CaF}_2$ [12, 14], малладрит — $\text{Na}_3\text{SiF}_6$ , ральстонит (?) — [12, 14], или (и) опал (?) — [12, 14].
Лавовый поток, вылившийся из кратера Заварицкого	Галит — [2, 4, 5], сильвин — $\text{KCl}$ [2, 4], напатырь — $\text{NH}_4\text{Cl}$ [9], кремерзит — $\text{KCl} \cdot \text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [9], глауберит [4], флюорит [13, 15, 9], эвхлорин (?) — $(\text{KNa}_2) \cdot \text{SO}_4 \cdot 2\text{CuSO}_4 \cdot \text{CuO}$ [4, 5], а <sup>+</sup> титолит — $\text{K}_3\text{Na}[\text{SO}_4]_2$ [5], черашгит — $\text{NH}_4 \cdot \text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [5], медьсодержащий минерал [2], гематит — $\text{Fe}_2\text{O}_3$ [2], ральстонит (?) — [13, 15], опал (?) — [13, 15].

\* Формулы минералов, за исключением формул эвхлорина (?) и кремерзита (?), взяты из книги А. Г. Бетехтина «Минералогия». М., 1950.

Флюорит микроскопически в возгонах эксцентрических кратеров Ключевского вулкана обнаружен впервые. Он наблюдался почти во всех образцах возгонов прорыва Юбилейного (см. табл. 4) и в образце возгона [7] фумаролы с кратера Туйлы.

На возможность и вероятность нахождения флюорита в возгонах Юбилейного прорыва указывал Б. И. Пийп, обнаруживший его в трещинах ксенолитов в лаве.

С. И. Набоко (1947) при пересчете валового химического анализа возгона с кратера Билукая на наблюдавшиеся в нем минералы отнесла остаток при расчете к флюориту, но микроскопически его не наблюдала.

Таким образом, можно считать, что фтористый водород в том или ином количестве содержится в фумаролах Юбилейного прорыва независимо от их расположения и распространен в возгонах эксцентрических кратеров Ключевского вулкана вообще.

Главная масса минералов исследованных возгонов каждого определенно расположенного первичного фумарольного поля представлена

обычно минералами одного класса, но в подчиненном количестве встречаются и отдельные минералы других классов.

Возгоны вторичных фумарол (на лавовом потоке) состоят из смеси минералов всех трех классов.

Из приведенных результатов видно, сколь неполно определяется минералогический состав возгонов обычными минералогическими методами. Необходимо разработать специальные, новые методы исследования минералогического состава возгонов. Разработка этих методов исследования является одной из первоочередных задач вулканологических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Набоко С. И. О новом фтористом минерале, встречающемся в сублиматах Ключевского вулкана. Докл. АН СССР, XXXIII, № 2, 1941.
- Набоко С. И. Извержение Билокая — побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г. Тр. Лаб. вулк., вып. 5, 1947.
- Пийп Б. И. Извержение вулканов Камчатки в 1944—1945 гг. Изв. АН СССР, сер. геол., 1946, № 6.
- Пийп Б. И. Эруптивная деятельность Ключевской сопки в 1944—1945 гг. Бюлл. вулк. ст. на Камчатке, № 14, 1948.
- Lacroix A. Les minéraux des fumerolles de l'éruption du Vésuve en avril 1906. Bull. Soc. Fr. Minér., 1907.
- Zambonini F. Mineralogica Vesuviana. Napoli, 1935.
-