

Д 400  
3-13  
ГЛАВНОЕ ГЕОЛОГО-ГИДРО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Т Р У Д Ы  
ЦЕНТРАЛЬНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВА-  
ТЕЛЬНОГО ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО  
ИНСТИТУТА (ЦНИГРИ)

Выпуск 35

TRANSACTIONS  
OF THE CENTRAL GEOLOGICAL  
AND  
PROSPECTING INSTITUTE

Fascicle 35

*A. N. Zavaritsky*  
А. Н. ЗАВАРИЦКИЙ

# ВУЛКАН АВАЧА НА КАМЧАТКЕ И ЕГО СОСТОЯНИЕ ЛЕТОМ 1931 Г.

By A. N. ZAVARITSKY

AVACHA VOLCANO AND ITS STATE IN 1931



ОНТИ — НКТП — СССР — 1935  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОЙ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
ЛЕНИНГРАД — МОСКВА

## Введение

Предметом изучения нашей экспедиции 1931 г. было геологическое строение вулканической группы Авачи, расположенной километрах в 30—35 к NNE от г. Петропавловска на Камчатке.

Почти все геологические наблюдения на вулканах этой группы естественно ограничиваются высотами выше 900—1000 м, ниже которых идет зона растительности — непроходимых ольховников и частью кедровников, пробраться через которые можно только по немногим "сухим рекам" и барранкосам. В обрывах сухих рек и барранкосов можно видеть, что граница зоны растительности примерно совпадает с границей развития рыхлых, часто слоистых пепловых, иногда перемытых отложений, прикрывающих внизу вулканические образования соммы Авачи и соседнего с ней Козельского вулкана.

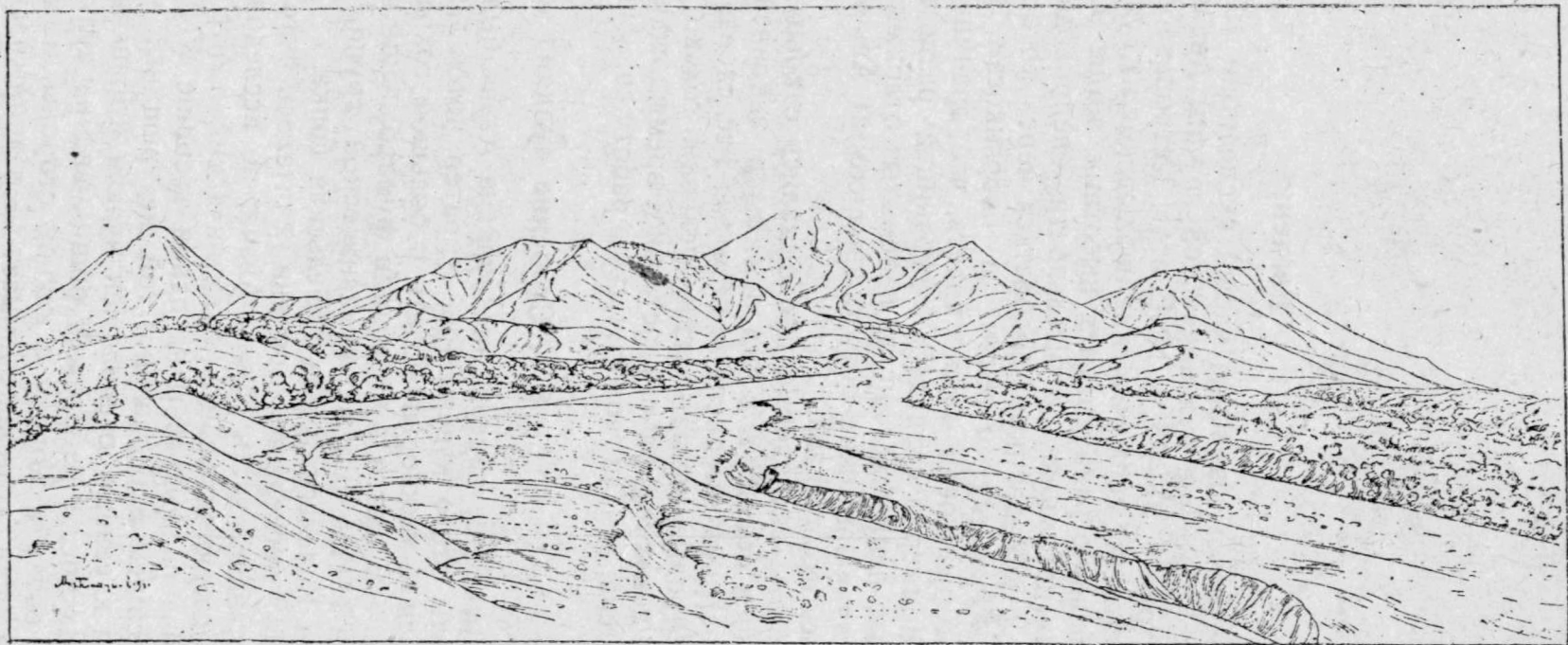
Работы экспедиции продолжались с конца июня и до последних чисел сентября, когда они были закончены уже по снегу. Очень серьезным препятствием для исследования Камчатки являются суровые климатические условия: только около  $\frac{1}{3}$  времени погода допускала работу, остальное время дожди, туманы, а в конце лета и снег делали геологическую работу совершенно невозможной.

### § 1. Строение вулкана

Последнее извержение вулкана Авача было в 1926 г., и результаты этого извержения — кратер, поток лавы и вулканические выбросы — можно наблюдать в большой сохранности. С тех пор вулкан находится в состоянии фумарольной деятельности. Кроме него в состав той же вулканической группы входит потухший вулкан Козельский или Козельская сопка.

До последнего времени считалось, что Козельская сопка представляет часть соммы Авачи, но исследования показали, что она — самостоятельный вулканический центр. Козельская сопка и Авача расположены на одной трещине WNW простирания, и на дальнейшем продолжении той же трещины, несколько загибающейся к северу, расположен вулкан Коряцкая сопка или Коряка.

На рис. 1 изображен общий вид на вулканы Авачу, Козельскую сопку и Коряку с южной стороны, именно с Халахтырской сухой реки, которая занимает передний план рисунка. Отсюда



Корякская сопка

Авача

Козельская сопка

Рис. 1. Общий вид на вулканическую группу Авачи. Слева на заднем плане вулкан Коряка. Слева от действующего конуса Авачи сброшенная часть соммы "Монастырь" и "Сарай".

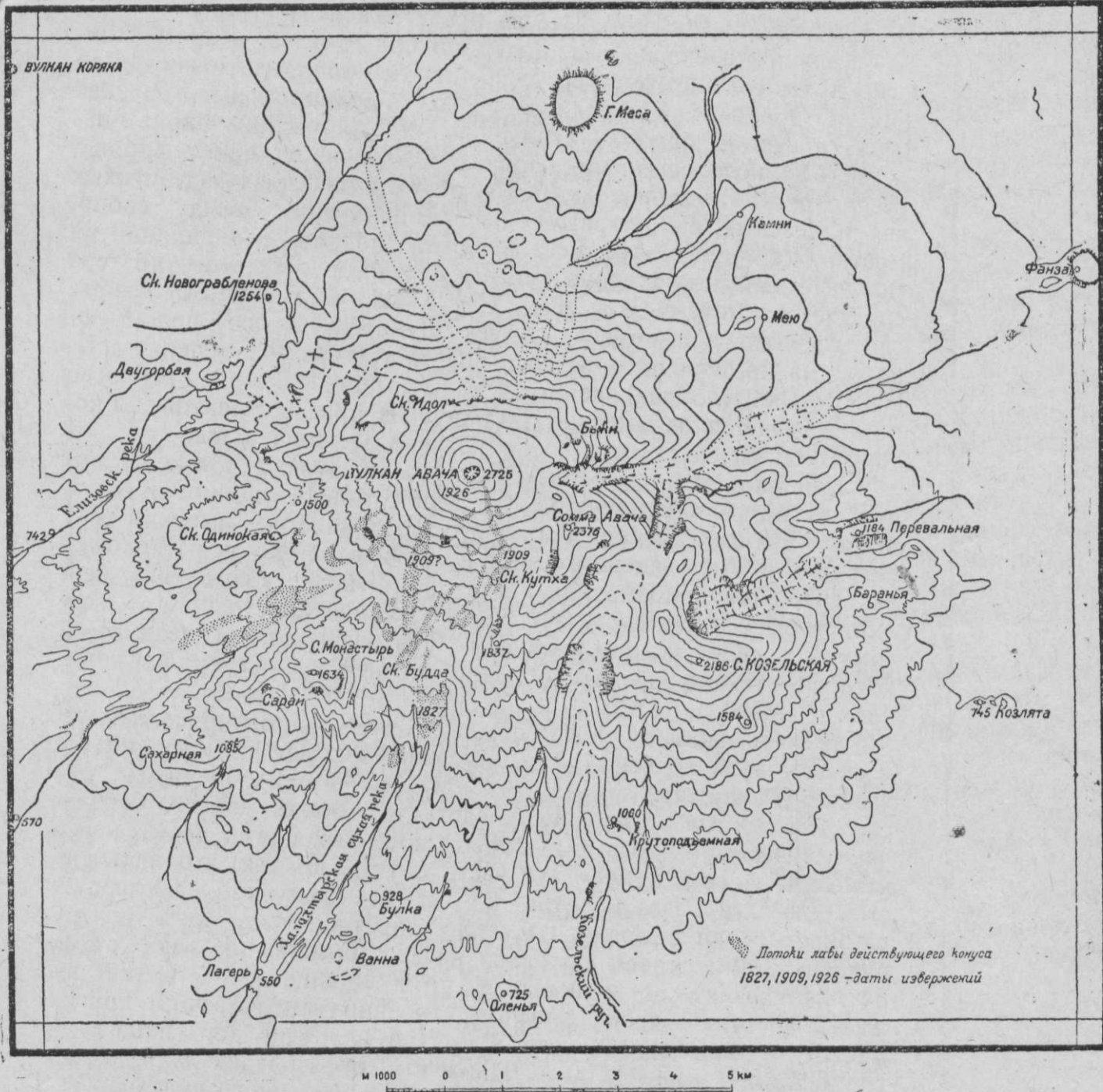


Рис. 2. Карта вулкана Авачи. Масштаб 1: 100000.

видны главные особенности строения Авачи и тесная связь вулкана с Козельской сопкой. Эта группа и была нами изучена настолько это позволило время работ. Карта вулкана по съемкам В. А. Печенкина и Н. А. Гусева представлена на рис. 2.

Коряцкая сопка не была подробно обследована, и здесь отмечены только некоторые ее особенности, которые можно было видеть, проходя у ее подножия с восточной стороны. Коряцкая сопка представляет вулкан правильной конической формы, изрезанный многочисленными барранкосами, позволяющими хорошо рассмотреть его строение, главным образом из серых андезитовых лав и красных аггломератов, переслаивающихся между собой. Кратер Коряцкого вулкана находится под самой вершиной; на склоне с западной стороны можно видеть, как из этого кратера спускается поток свежей лавы. Сам вулкан обнаруживает слабые следы деятельности, в виде струек фумаролл, иногда поднимающихся из кратера, что удалось видеть три раза в течение лета. На юго-восточном склоне Коряки, на высоте 2000 м, прекрасно обрисовывается паразитический конус из красных шлаков, из которого также спускается поток недавно застывшей лавы.

Наиболее подробно был исследован вулкан Авача, — этот вулкан типа Сомма-Везувий. Кальдера соммы Авачи имеет около 4 км в диаметре и скошена на юго-запад; наиболее высокий край ее около 2370 м, а действующий вулканический конус расположен эксцентрично, приближаясь к северному краю кальдеры. Абсолютная высота его достигает 2755 м. Узкое пространство между соммой и действующим конусом занято фирном и ледниками, которые отекают главным образом в северном и северо-западном направлениях.

К юго-западу от действующего конуса, как бы прислоненным к склону вулканической горы, выделяется отрог ее, носящий название „Монастыря" и „Сарая" (см. рис. 1 и 2). Изучение его строения показало, что он представляет часть соммы, ограниченную двумя радиальными сбросами, проходящими через центр кальдеры соммы, причем эта часть опустилась так, что переплавление лав, аггломератов и рыхлых продуктов, слагающих „Монастырь" и „Сарай", получило обратное падение к центру вулкана. Сами сбросы положили начало образованию двух „сухих рек", стекающих с вулкана. В этом сброшенном участке пожалуй доступнее всего изучение строения соммы Авачи; в других местах его можно наблюдать в крутых и трудно доступных трогах ледников выше 1 500 м. Ниже эти образования скрываются под рыхлыми продуктами извержения современного вулкана.

Как сомма Авачи, так и действующий конус вулкана построены из пирокластических продуктов и лав, представленных главным образом пироксеновыми андезитами. Это породы серого цвета с обильными фенокристаллами основного плагиоклаза, почти всегда зонального, а в более крупных фенокристаллах содержащего многочисленные включения стекла. Фенокристаллы пирок-

сена присутствуют в гораздо меньшем числе и представляют как клинопироксен, так и ортопироксен. Кристаллы первого обыкновенно крупнее, но менее многочисленны; не представляют большой редкости обрастания ортопироксена авгитом в виде параллельно ориентированных каемок. В числе первых выделений почти всегда присутствует магнетит. В некоторых типах в фенокристаллах появляется оливин, встречаются сростки его с фенокристаллами пироксена, обыкновенно моноклинного; причем оливин всегда находится в центральной части этих сростков. Наоборот очень редки потоки лавы, в которых встречаются остатки диссоциированной и превращенной в агрегат пироксена, плагиоклаза и магнетита роговой обманки.

Основная масса андезитовых лав Авачи, как обыкновенно бывает у этих пород, гиалопилитовая, но она довольно разнообразна по относительному количеству стекла и размерам микролитов плагиоклаза, пироксена и магнетита, входящих в ее состав; стекло прозрачное, слегка буроватое.

В более молодых, верхних потоках соммы Авачи мы встречаемся с лавами основными, относящимися уже к андезито-базальтам. В них оливин становится уже существенным минералом, гиперстен наоборот исчезает, количество авгита увеличивается, а основная масса имеет интерсервальную микроструктуру.

В аггломератах, подстилающих потоки, наружных корках лавы, шлаках как андезитовых, так и базальтовых лав мы встречаем стекловатую основную массу, бедную микролитами, и кроме того, здесь наблюдается характерное разложение гиперстена и выделение свободных окислов железа.

Слоистая толща лав и аггломератов соммы Авачи пересечена во многих местах дайками. Большинство из них имеют состав андезито-базальтов и даже базальтов, отвечая, повидимому, самым молодым потокам соммы, но в числе этих дайк есть и образованные гиперстеновыми андезитами, содержащими местами остатки фенокристаллов роговой обманки, и сравнительно кислыми. В основной массе одной из таких дайк довольно много тридимита, очень редкого в андезитах лавовых потоков.

В кальдере соммы между „Монастырем” и действующим конусом сохранились остатки туфовых и пемзовых горизонтальных наслоенных отложений, частью прикрываемых лавами современного конуса.

Действующий конус Авачи имеет очень правильную коническую форму, относительная высота его около 700 м и он заканчивается кратером 400 м в поперечнике.

Лавовые потоки изливались главным образом в южную сторону, и на южном склоне можно насчитать до 15 таких потоков. Время излияния их можно было установить только для трех-1827, 1909 и 1926 гг.; для остальных определяется только и последовательность. Рис. 3 изображает общий вид действующего конуса Авачи с юга, откуда видны лавовые потоки.

К северу, западу и востоку от центра извержения как действующий конус, так и склоны соммы обильно покрыты лапили, нивелирующими мелкие неровности поверхности и образующими монотонное темносерое поле, прорезанное отдельными барранкосами; среди лапиллевого поля выступают разрозненные выходы лавовых потоков и дайк соммы.

Лавы современного конуса Авачи представляют также авгитово-гиперстеновые андезиты и имеют вид типичной глыбовой лавы; два из потоков имеют отчетливую корытообразную форму с краевыми нагромождениями глыбовой лавы. Для потока 1827 г. характерны глыбовые выпячивания, придающие своеобразный вид его поверхности.

Все лавы современного конуса Авачи довольно однообразны и в общем похожи на пироксеново-андезитовые лавы соммы. Они отличаются деталями микроструктуры соответственно разным частям потоков, которые они образуют. В отношении минералогического состава можно отметить присутствие небольшого количества оливина в лаве 1909 г. Эта лава образует два относительно крупных потока. Поток лавы последнего извержения очень короткий, спускается метров на 30 ниже кратера. Повидимому гораздо большее значение имели выбросы обильных шлаков и шла-



Рис. 3. Действующий конус Авачи. Вид с юга.

ковых бомб, образующих довольно порядочное накопление между конусом и соммой, частью на поверхности ледника и фирна. Кроме шлаковых бомб встречаются характерные бомбы типа „хлебной корки“, а также своеобразно растрескавшиеся эксплозионные обломки плотного светлосерого андезита. Повидимому последнее извержение Авачи было смешанного типа.

Действовавшие в 1931 г, фумароллы Авачи приурочены частью, к внутренним стенкам кратера и дну его, покрытому осыпью огромных глыб и более мелких обломков и недоступному вследствие обрывистости стенок в нижней части кратера; частью же мы находим фумароллы в самой верхней внешней части конуса с его наружной стороны; при этом здесь, с северо-западной стороны кратера, но интенсивности фумароллы не уступали наиболее сильным, которые можно было видеть на дне кратера и внутренних его стенках. Эти фумароллы северо-западного склона вероятно связаны с трещиной, пересекающей вершину конуса и заметной на внутренней стенке кратера по небольшому нарушению слагающих ее лав и аггломератов. Легко доступные фумароллы северо-западного склона и были изучены подробнее других.

Возвращаясь к остальным частям вулканической группы Авачи, здесь необходимо отметить следующее.

Потухший Козельский вулкан, достигающий высоты 2200 м, представляет кальдеру около 1 500 м в поперечнике, заполненную фирном и открытую на северо-восток, где из нее стекает ледник. В седловине между соммой Авачи и Козельской также фирновое поле, с которого ледники спускаются как на юг, так и на север.

По своему внутреннему строению Козельский вулкан подобен сомме Авачи, на которую, а также и на Коряцкую сопку он походит и степенью развития барранкосов, изрезающих наружную поверхность конуса. Отличительной особенностью Козельского вулкана является развитие куполов и мощных экструзивных масс роговообманковых и гиперстеновых андезитов, образующих отдельные холмы в нижней части вулкана. Подобные же экструзии андезитов наблюдаются и вокруг Авачи (скала Одинокая, Булка и др.), но там они играют гораздо меньшую роль в строении вулканического аппарата.

Андезиты, образующие эти экструзии, отличаются от андезитов потоков. Это светлые буроватые или серые андезиты с трахитоидной, редко плотной литоидной основной массой, часто содержащие в числе фенокристаллов наряду с плагиоклазом удлиненные черные призмы роговой обманки.

Под микроскопом видно, что бурая или зелено-бурая роговая обманка сохранилась только в остатках центральной части кристаллов, превращаясь снаружи в зернистый агрегат из пироксена (большей частью гиперстена), плагиоклаза и магнетита, образующий иногда настоящие псевдоморфозы. Вместе с остатками роговой обманки обыкновенно присутствуют и фенокристаллы гиперстена, но в общем породы бедны фемическими составными частями

и имеют явно лейкократовый облик. Основная масса относительно богата бесцветным или слегка буроватым стеклом, и микроструктура характеризуется обилием длинных и относительно крупных, обыкновенно флюидално расположенных микролитов плагиоклаза, придающих ей трахитоидный облик.

В основной массе "экструзивного бисмалита" (plug) Козельской сопки встречен в небольшом количестве микропойкилитовый („глобулярный“) кварц.

Нередко нахождение в этих и подобных экструзиях гомогенных включений полнокристаллической структуры.

## § 2. Состав лав вулкана Авачи

В дополнение к краткой характеристике лав Авачи можно прибавить следующие данные о химическом составе лав, приведенные в таблице 1.

Анализы 1 и 2 представляют составы лав соммы Авачи. 1—более древние андезитовые лавы, составляющие нижние потоки соммы, и 2—базальтовые потоки, покрывающие сверху склоны соммы. Как уже было сказано, состав лав в конце образования соммы становится более основным.

Анализы 3 и 4 представляют состав дайка, пересекающих лавы и аггломерат соммы. Первая из них сложена андезитом, близким по составу к лавам современного конуса, вторая — базальтовая дайка, отвечающая базальтам последних излияний соммы. Состав пород куполов и экструзий дан в анализах 5—9, а анализ 10 представляет состав пемзы, отложенной в кальдере соммы и более древней, чем лавы современного конуса. Экструзивные породы куполов и эта пемза, как видим, довольно близки по составу.

Анализы 11—13 относятся к лавам современного конуса; первый из них — поток лавы, излившейся в середине прошлого столетия, второй — лавы 1909 г. и третий — лавы 1926 г. Анализы 14—18 представляют состав вулканических бомб последних извержений.

Рассматривая составы лав, можно прийти к такому заключению об изменении их.

Образование соммы Авачи началось с излияния андезитовых лав, которые к концу этой стадии образования вулкана сменились более основными базальтовыми лавами. Последующее, очевидно после некоторого перерыва, образование кальдеры соммы сопровождалось взрывами, давшими более кислые пемзы. Экструзии куполов вероятно следовали за этим эпизодом; такая связь экструзий куполов с образованием кальдер, как известно, характерна и для ряда других вулканов. Этим завершается образование соммы Авачи. Впоследствии образование современного конуса опять связано с излияниями андезитовых лав среднего состава, обнаруживающего лишь небольшие колебания.

	Сомма		Дайки соммы		Купола			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub> . . . . .	56,23	51,20	56,65	51,05	58,81	58,56	58,21	62,98
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,69	0,66	0,57	0,76	0,62	0,78	0,77	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	21,02	16,19	18,27	16,91	18,76	18,27	20,51	18,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,20	2,31	3,05	2,29	5,03	2,67	3,92	2,41
FeO . . . . .	3,23	7,12	4,20	6,32	1,57	3,92	2,13	2,49
MnO . . . . .	0,12	0,13	0,12	0,18	0,19	0,19	0,18	0,17
MgO . . . . .	2,37	9,25	3,90	9,28	2,40	3,80	1,92	1,31
CaO . . . . .	8,49	9,85	8,10	9,76	6,73	7,60	7,87	6,30
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,08	2,42	3,98	1,85	3,86	3,47	4,00	3,84
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,74	0,42	0,58	0,58	0,80	0,54	0,68	1,23
H <sub>2</sub> O+ . . . . .	0,31	0,65	0,32	0,46	1,01	0,11	0,05	0,40
H <sub>2</sub> O- . . . . .	0,31	0,09	0,35	0,29	0,42	0,21	0,07	0,01

Сумма . . . . .	99,79	100,29	100,09	99,73	100,20	100,12	100,31	99,97
-----------------	-------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	-------

## НОРМЫ

Q . . . . .	12,8	—	8,2	2,1	15,7	14,0	13,3	20,1
or . . . . .	4,5	2,2	3,3	3,3	5,0	2,8	3,9	7,2
ab . . . . .	26,2	20,4	34,1	15,7	32,5	29,3	34,1	32,5
an . . . . .	41,1	32,3	30,0	36,1	31,4	32,8	35,9	29,2
di . . . . .	0,9	13,5	8,3	9,8	1,5	4,0	2,4	1,8
hy . . . . .	7,6	25,7	9,9	27,0	5,3	11,1	3,7	4,3
ol . . . . .	—	0,8	—	—	—	—	—	—
mt . . . . .	4,6	3,2	4,4	3,2	3,3	3,9	5,3	3,5
il . . . . .	1,4	1,2	1,1	1,5	1,2	1,5	1,5	0,8
hm . . . . .	—	—	—	—	2,7	—	0,2	—
ru . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—

Анализы исполнены: 1, 3, 4, 5, 16 и 17 — Е. А. Свержинской; 6, 11, 13 и 14 — Ю. Н. Книпович

Пемза		Современные лавы			Бомбы				
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
64,17	60,12	55,61	54,74	55,98	54,86	54,79	55,20	55,14	54,76
0,43	0,62	0,94	0,72	0,73	0,57	0,83	0,64	0,59	0,95
18,35	18,80	18,88	18,13	17,40	18,41	18,15	18,22	18,26	18,16
4,15	4,12	2,98	2,74	3,30	3,18	2,89	2,51	2,62	4,43
0,05	1,71	4,96	5,21	4,91	4,87	5,47	5,61	5,54	3,99
0,19	0,17	0,13	0,10	0,15	0,11	0,10	0,13	0,13	0,16
1,50	2,44	4,18	5,15	5,01	5,19	4,62	4,50	4,39	5,06
5,82	6,91	8,76	9,18	9,02	9,37	9,10	8,90	8,83	9,07
4,04	3,62	2,66	3,14	2,43	2,29	3,21	3,27	3,01	3,01
0,94	0,67	0,56	0,70	0,65	0,34	0,75	0,56	0,72	0,62
0,13	0,90	0,22	0,27	0,49	0,63	0,49	0,46	0,67	0,18
0,08	0,19	0,20	0,04	0,31	0,10	0,04	0,08	0,09	0,09
99,85	100,27	100,08	100,12	100,38	99,92	100,44	100,08	99,99	100,48

СОСТАВОВ

22,4	18,5	11,9	6,4	12,5	11,7	6,5	7,2	8,46	9,5
5,6	3,9	3,3	3,9	3,9	1,7	4,5	3,3	3,9	3,3
34,1	30,4	22,5	26,7	20,4	19,4	27,2	27,8	25,1	25,2
28,9	33,1	37,8	33,1	34,7	38,9	32,8	33,1	34,5	34,5
—	0,9	4,5	10,1	8,1	6,0	10,2	9,0	7,7	8,5
3,7	5,7	13,3	14,1	13,6	15,6	13,0	14,2	14,6	11,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	4,2	4,4	3,9	4,9	4,6	4,2	3,7	3,7	6,5
0,6	1,2	1,8	1,4	1,4	1,1	1,5	1,2	1,1	1,8
4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Н. В. Левенфиш; 7, 10, 18 — Р. П. Ильницким; 12 и 15 — М. М. Стукаловой; 9 — Б. М. Френкель.

### § 3. Кратер Авачи в 1931 г.

Как мы уже видели, действующий конус заканчивается центральным или терминальным кратером, имеющим в поперечнике около 400 м и достигающим 150 м в глубину.

Очертание кратера округло-четыреугольное. В общем он имеет действительно форму чаши, и по строению стенок довольно резко различаются две его половины: северо-восточная и юго-западная. В северо-восточной части мы имеем ступенчатый внутренний склон из обрывов сравнительно тонких потоков лавы, чередующихся с более пологими и засыпанными осыпями склонами, образованными рыхлым пирокластическим материалом. Только в 50 м от дна мы с этой стороны видим в стенке кратера отвесный обрыв мощных андезитовых масс.

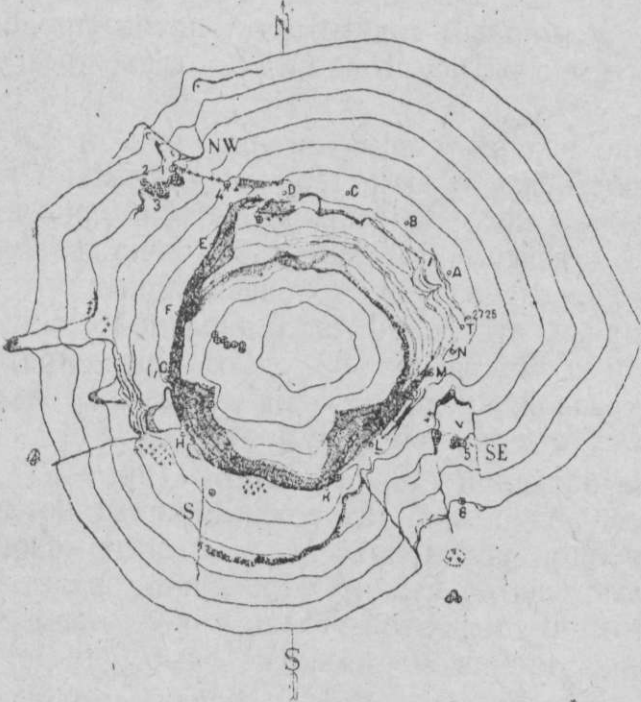


Рис. 4. План кратера Авачи. Масштаб 1: 10 000, горизонтали через 20 м. Номера fumarолл отвечают описанию в тексте. Устья fumarолл-кружки с крестиками; крестики без кружков там, где fumarоллы просачиваются через почву без ясных устьев.

Общий вид кратера можно хорошо наблюдать с пункта М на краю восточной его части, с правой стороны так называемого „зуба“. Последний представляет по видимому остаток лавового потока, перелившегося через край кратера. Это — скала шириной около 80 м и высотой около 15 м, обрывающаяся с наружной стороны конуса. С внутренней стороны вертикальный обрыв спускается до половины кратера, где к нему прислонены осыпи. Снаружи видно, что высота 15 м отвечает всей мощности потока, под которым залегают агломераты. Это же дно видно и на внутренней стенке кратера.

Юго-западная сторона кратера более обрывиста начиная сверху и сложена большей частью массивными скалами андезита, видимо сильно разложенного и окрашенного снаружи налетами фумаролл, которые выделяются из трещин в этой стенке. План кратера, по съемке Б. И. Пий-

па, представлен на рис. 4. ОТМЕТИМ здесь только не-

которые детали строения, бросающиеся в глаза наблюдателю.

С указанного пункта справа от "зуба" кратер представляется в таком виде (см. панораму кратера рис. 5).

Вверху, в восточной части кратера (между точками *N* и *B*, см. рис. 4) на внутренней стенке кратера обнажаются красные аггломераты, периклинально падающие наружу и образующие ряд уступов внутрь. Под ними темный слой лавы, падающий уже внутрь кратера и спускающийся в виде темного языка. Ниже тонкие прослойки лавы, чередующейся с туфами, и в самом низу — обрыв сплошной массы андезита.

От точки *B* к северу склон кратера внутрь менее обрывист, вверху склон почти под тем же углом, как снаружи; метров на 10 ниже края идет чередование лавовых прослоев с рыхлым материалом. На северной стороне, против точки *C* в верхней части стенки кратера виден мощный андезитовый поток, продолжением которого могут быть скалы под точкой *D*, отделенные с правой стороны осыпью.

Непосредственно над этим потоком под точкой *D* налегает тонкая перемежаемость лав и аггломератов, несколько изогнутая в виде синклинали, ось которой приходится примерно в точке *E*. Своим красно-бурым цветом эта слоистая толща отличается от серой серии тоже переслаивающихся более мощных потоков лавы и аггломератов, видных в верхней части западной стенки кратера между точками *E* и *F*. Ниже на 60 м от края кратера идет сплошная масса разложенного на вид андезита, окрашенная в светложелтые тона отложениями фумаролл.

Еще южнее на западной стенке кратера (против точки *G*), в верхней трети ее, видна слоистая толща мощных потоков лавы, наклоненная вправо под углом 20°, среди которых можно рассмотреть и прослой аггломератов, сильно окрашенных налетами фумаролл. Непосредственно под этой толщей выступает сплошная масса андезита, скрытая ниже осыпью из глыб.

Западная обрывистая стенка кратера, если смотреть на нее с противоположной стороны, редко бывает хорошо видна, вследствие застилающих ее паров и газов фумаролл, выходящих из этой стены, и кроме того пестро-окрашенные налеты фумаролл маскируют строение этой стены.

Строение стенок южной половины кратера похоже на строение западной стенки; именно, в верхней части можно видеть разрез слоистой толщи лав и аггломератов, а ниже целиком стенка представляет сплошную отвесную скалу андезита, в самом низу, у дна кратера скрывающуюся за осыпями. Так, под "зубом" (между *L* и *N*), сложенным повидимому несколькими налегающими слоями лавы, виден подстилающий эту лаву прослой аггломерата, а ниже почти отвесно спускаются скалы андезитовой массы, из которых пробиваются сравнительно слабые фумароллы, хотя все же налетов так много, что они скрывают почти всю поверхность скалы.

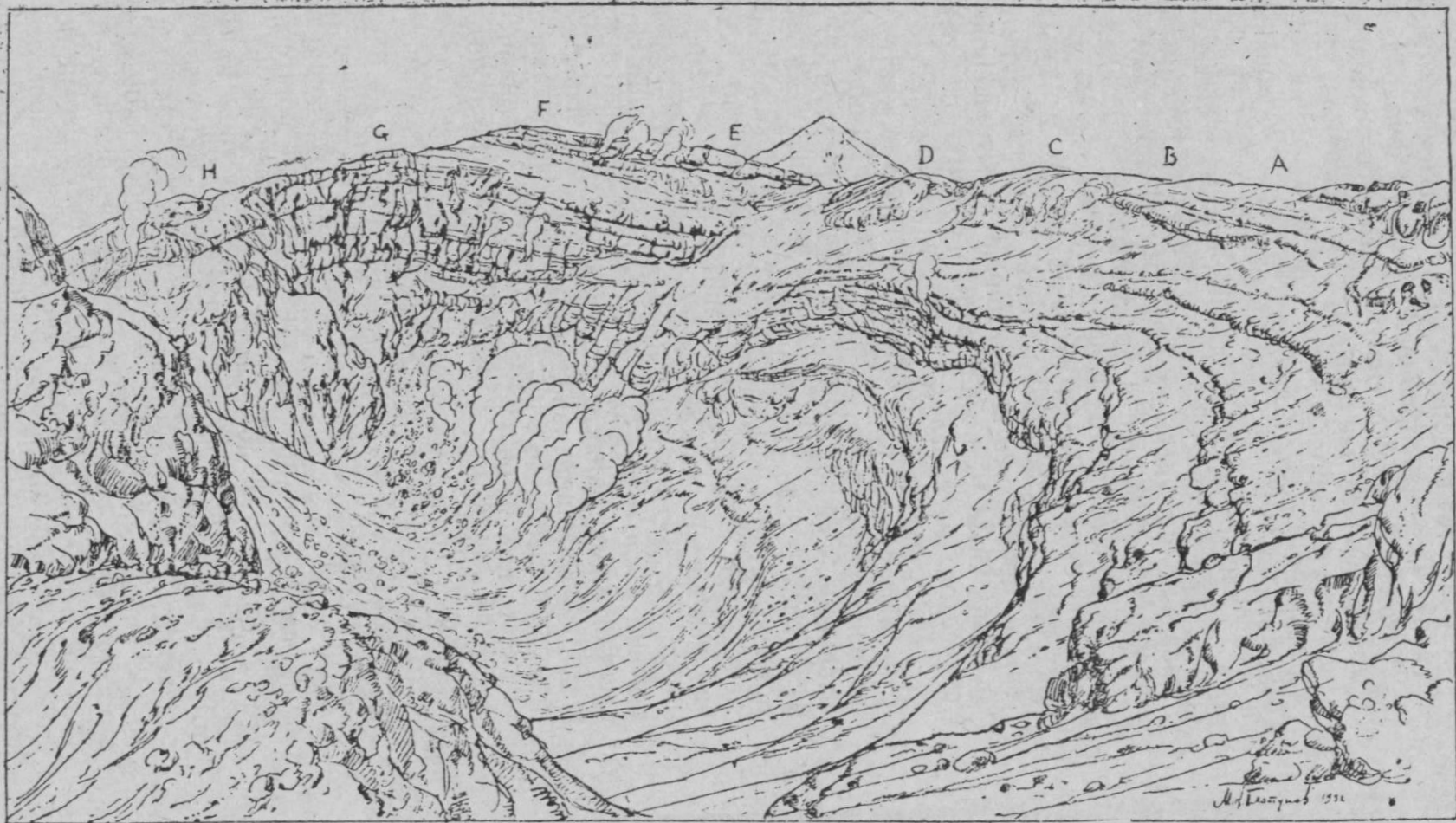


Рис. 5. Панорама. Вид кратера Авачи от точки М ( см. план, рис. 4).

Дно кратера представляет почти горизонтальную площадку, метров 150 в поперечнике, засыпанную рыхлым материалом, сквозь который пробиваются струи фумаролл. Со стенок кратера к этой площадке спускаются осыпи, состоящие как из мелкого рыхлого материала, так и из крупных обломков. Из этих осыпей также выходят фумароллы, особенно в западной части. От действия фумаролл — вокруг дна кратера ярко окрашенные светложелтые налеты.

Сплошные массы андезита, видимые в стенках кратера в нижней его части со всех сторон, а в верхней главным образом в обрывах западной и южной стенок, кажутся остатками лавовой колонны, заполнявшей кратер и опустившейся впоследствии.

Воронкообразная форма верхней части восточной половины кратера скорее может быть объяснена взрывом, последовавшим за таким опусканием лавовой колонны; действие взрыва, как видим, проявилось асимметрично по отношению к оси кратера, и может быть в связи с этим находится распределение пирокластического материала последнего извержения.

Из приведенного краткого описания кратера, сравнивая его с наблюдениями Арсеньева и отчасти Шмидта, бывших на Аваче до извержения 1926 г., можно заключить, что во время этого извержения кратер совершенно изменил свой вид, значительно углубился и стал совершенно недоступным до своего дна, которое, невидимому без особого труда, можно было достигнуть до извержения 1926 г. Последнее главным образом выразилось в эксплозионных явлениях. Количество лавы, вылившейся из кратера, было ничтожно, как это было отмечено посетившим вулкан непосредственно после извержения А. Н. Трошиным и подтверждается нашими наблюдениями. Большие "потоки лавы", о которых сообщает наблюдавший извержение из г. Петропавловска П. Т. Новогребленов, вероятно были „потоками"-лавинами скатывавшихся по склону конуса масс раскаленных бомб, но не потоками сплошной жидкой массы лавы.

Самый последний поток лавы, вылившийся по всей вероятности при извержении 1926 г., спускается по наружной поверхности конуса от точки *И* края кратера. Лавовый поток 1926 г. состоит из трех разобренных частей: собственно лавового потока и двух лоскутков лавы по краю кратера ничтожной величины; начинаясь между точками *G* и *H* на краю кратера, лавовый поток 1926 г. спускается по склону всего метров на 30. Очертания близки к трапеции, большее основание которой отвечает началу потока, а меньшее — концу языка. Лава подстиается агломератом, отделяясь от него тонким туфовым прослойком мощностью около 30 см. Он виден в боковом разрезе потока и с его фронтальной стороны. Туф этот местами рыхлый, светлосерый, большей частью крепкий, то буро-красного цвета, то зеленоватого. Небольшие остатки его слоя видны еще на поверхности более раннего потока, подстилающего тот, о котором идет речь.

Во фронтальной части верхнего потока видно, как лежащий под его лавой аггломерат выступает впереди потока лавы, распространяясь по поверхности более раннего подстилающего его потока. Мощность верхнего потока здесь тоже незначительна, всего около 0,5 м.

Этот лавовый поток, как это видно с края, состоит из глыб андезита, иногда совершенно разобщенных друг от друга трещинами, особенно вверху, вблизи края кратера, но большей частью лишь разделенных трещинами округло-полиэдрической отдельности. Поверхность потока отличается тем, что тип глыбовой ("аа") лавы здесь не резко выражен, она имеет сглаженно кудрявый вид, до известной степени промежуточный между типами "аа" и "пэхуху". Большая часть потока засыпана сверху эксплозивными обломками и другим пирокластическим материалом. Из трещин кое-где выделяются пары и газы фумаролл. Поток спускается к крутому скалистому уступу на поверхности конуса и здесь обрывается.

#### § 4. Фумароллы

Фумароллы действующего конуса Авачи ограничиваются самой вершиной его, не спускаясь ниже 100 м от края кратера. Они находятся как внутри кратера, где они выделяются наиболее интенсивно на дне его, особенно из груды глыб в его западной части и слабее из трещин западной и отчасти южной стенок его, так и с наружной стороны конуса.

Фумароллы внутри кратера были недоступны для исследования, будучи расположены или на дне, до которого невозможно было спуститься, или на отвесных обрывистых стенках. Только издали здесь можно было наблюдать пестро - окрашенные, особенно в светлые желтоватые, иногда зеленоватые тона, выцветы фумаролльных инкрустаций. Поэтому наши исследования ограничились выходами фумаролл на наружной стороне конуса. Эти фумароллы распадаются на три группы: 1) фумароллы на северо-западном склоне конуса; 2) фумароллы на западном и юго-западном склонах, почти до края кратера; 3) фумароллы в барранкосе около того потока лавы, по которому удобнее всего подниматься к кратеру (около "зуба").

Дальше описаны эти три группы отдельно. Значительный интерес представляли те минеральные отложения, которые инкрустируют почву около фумаролл и их отверстия. Газы фумаролл собирались и были исследованы только в немногих пунктах, которые были выбраны как типичные места, различающиеся между собою по интенсивности выделения струй газов и пара и по характеру окружающих их выходы инкрустаций. Исследование и сбор газов производил Л. Н. Добрецов на месте. Химические анализы проб газа были сделаны в Ленинграде А. А. Черепенниковым, а анализы получившихся при пробах газов растворов, и также инкрустаций фумаролл — В. Е. Кутейниковым.

Исследования газов фумаролл Авачи заключались в следующем. Определялись температура и давление в фумароллах, большинство которых удавалось каптировать.

Протягивая газ через холодильник, определяли количество конденсирующейся воды.

Производились некоторые химические пробы.

1. Предварительно некоторым простейшими пробами определялся качественный состав газов. Присутствие  $SO_2$  легко было установить во всех фумароллах по запаху. Реакцией на  $H_2S$  было почернение бумажки, смоченной щелочным раствором искусственного свинца. Для определения  $CO_2$  и  $HCl$  кусок ваты, смоченной раствором  $KOH$ , вводился на некоторое время в струю фумароллы и затем раствор отжимался в пробирки с известковой водой и с подкисленным раствором  $AgNO_3$ . Указанием на свободный хлор было бы выцветание лакмусовой бумажки и образование мути  $HgCl$  в воде, пропитанной газами в присутствии металлической ртути. Свободного хлора этим путем обнаружено не было, и в дальнейшем расчет состава газов ведется принимая весь  $Cl$  находящимся в состоянии  $HCl$ .

2. Из фумаролл набирались водяным аспиратором пробы газа, подвергавшиеся потом анализу. Предварительно через воду аспиратора пропускаться многократно газ фумароллы.

3. Набирали пробу газа, протягивая его через раствор  $KOH$ . Анализировался как этот раствор для определения поглощенных составных частей газа, так и газ, оставшийся непоглощенным. Данные этих проб служили главным основанием для определения состава газа. Заметим, что раствор  $KOH$  после поглощения газа сохранял щелочную реакцию.

4. Таким же образом газ протягивался через раствор  $AgNO_3$  и полученный осадок анализировался.

Произведенные пробы недостаточны для точного представления о составе газа фумаролл; в особенности трудно по ним судить об отношении  $H_2S$  и  $SO_2$ , так как равновесие между сульфидами и дисульфидами в растворах зависит от весьма сложных условий опыта.

Тем не менее общий характер фумаролл этими опытами можно считать выясненным. Рассматривая результаты их как первое приближение, в дальнейшем я привожу данные о составе с точностью только до 1%, чтобы подчеркнуть этот приблизительный характер наших определений.

В следующем описании фумаролл они разделены на три упомянутые выше группы.

### **Фумароллы северо-западного склона (NW)**

Фумароллы на северо-западном склоне являлись почти такими же сильными, как на дне кратера. Они были расположены на площади примерно 70 м в поперечнике, расширяющейся книзу.

Наиболее горячие фумароллы были во время нашего посещения метрах в 70—80 ниже края кратера.

Фумароллы здесь пробили себе путь через слагающий конус вулканический аггломерат, сильно разложенный газами, превращенный местами совершенно в „труху“. Порода здесь сильно разложена, и из этой нагретой, часто рыхлой массы пар и газы, кроме выходов их в виде отдельных хорошо обособленных отверстий, просачивались многочисленными струйками. В таких местах, где они выходили, под поверхностным слоем можно было раскопать отложения серы, желвачки гипса с примесью алуногена и других сернокислых солей.

По окраинам площади, на которой дымились фумароллы, выступают светлые розовые, красноватые, иногда белесоватые разложенные, частью алунитизированные породы, пронизанные инкрустациями и жилками гипса и реже серы. Большая часть площади, где выходят фумароллы, покрыта инкрустациями или выцветами большей частью растворимых солей, несколько отличающихся в верхней и нижней частях этого участка тем, что вверху преобладают слегка зеленоватые тона их окраски.

Устья более сильных обособленных фумаролл очень часто представляют отверстия довольно правильной округлой формы, в несколько сантиметров в поперечнике, откуда с шипением, иногда почти со свистом выходили струи пара. Эти отверстия обычно оторочены отложениями серы, и только в некотором расстоянии дальше от устья следуют выцветы растворимых, главным образом сернокислых солей.

Сера в самой отверстии выделяется в виде тонких волосистых или игольчатых кристалликов, зазубренных, как видно под лупой, и представляющих нарастания по вертикальной оси острых ромбических дипирамид. Эта свежее выпавшая сера перекристаллизовывается, и дальше мы видим более яркие корки серы с изометрическими кристаллами, сливающимися глубже в сплошные агрегаты. В некоторых случаях, дальше от центра, сера образует тонкие корочки белесоватого цвета с зеленоватым оттенком, иногда гроздевидные образования. Вся эта серная оторочка отверстий фумаролл обычно усеяна капельками сконденсированного пара.

В других случаях в более горячих фумароллах сера плавится, стекает из устья их маленькими потоками, и здесь можно видеть жидкую, расплавленную серу буроватого цвета, застывающую в характерные натечные формы.

Наконец самые горячие фумароллы выходили из отверстий на площадке размером несколько метров в диаметре, совершенно лишенной видимых инкрустаций и сложенной черной пористой массой, похожей на кузнечную изгарину.

Распыленная сера отлагается только по краям такой площадки. На некоторых образцах этой рыхлой черной массы, очевидно тоже подвергшейся изменению под действием фумаролл, о чем будет сказано ниже, замечены были тонкие пленки марказита.

Около сильно действующих фумаролл сера образует целые корки, и стоит только проткнуть такую корку палкой, как оттуда начинает шипеть новая струя пара и газов.

Кроме отложения серы и сульфатов особый интерес представляют отложения сассолина. Они наблюдались около устьев фумаролл с относительно высокой температурой. Сассолин отлагается в небольшом расстоянии от устья, окружая его кольцом налета из тонких кристаллических табличек. Отложения сассолина тесно связаны с отложениями серы, перемежаясь с ней тонкими корочками.

Там, где слабые струи пара и газов просачиваются через почву, образуются выцветы главным образом растворимых сернокислых солей. Эти выцветы, естественно, имеют различный вид, в зависимости от погоды. Сильные дожди смывают их совсем, и они вновь вырастают после нескольких дней хорошей погоды. Для таких эфлоресценций растворимых солей очень характерны некоторые структурные типы их отложений.

Наиболее типичная и распространенная форма — это извилистые тонкие „оборки“, окружающие мелкие лапилли, иногда нарастающие в виде оборок по краям более крупных камней. Пленки таких оборок вырастают до сантиметра; обычно цвет их белый, у основания часто желтоватый.

В других случаях выцветы солей не распространяются по поверхности того камешка, на котором они растут, в виде оборки, но рост их сосредоточивается в отдельных пунктах, и тогда вырастают воронковидные неправильной конической формы наросты, напоминающие по своей форме грибы „лисички“ (*Cantharellus*), иногда белые, иногда с желтоватой середкой. Местами наросты выцветов принимают даже игловидную форму. В некоторых случаях воронки наростов более развернуты, получается почти чашечка: белые края их при желтой середине придают некоторое сходство с цветочками маргаритки (*Bellis*).

Третья форма инкрустаций имеет вид пленок, иногда как бы лопнувших пузырьков. В некоторых случаях можно заметить радиально волокнистое сложение таких пленок. Наконец, встречаются тонкие налеты на поверхностях камешков.

Кроме белых или почти белых выцветов, в почти совершенно таких же формах, встречаются желтые разного оттенка, иногда зеленоватые. Когда желтые и белые встречаются совместно, они располагаются в определенном порядке: белые оборочки снаружи окаймляют желтые, в воронковидных формах желтые образуют середину.

Выцветы разнообразной формы на поверхности конуса вулкана располагаются кучками в тех местах, где нет видимых отверстий выхода фумаролл, но где газы просачиваются через почву. В некоторых случаях такие инкрустации окружают более крупные лапилли или шлаковые бомбы, особенно интенсивно развиваясь вокруг куска породы по окружности, где он выступал из рыхлой

почвы; верхняя же поверхность кусков почти свооодна от выцветов.

На скалах, окружающих поле фумаролл северо-западного склона, иногда наблюдались ярко-рыжие пленки окислов железа. К востоку от главной площади выделения фумаролл газы пробивались реже, и можно было наблюдать, что около их струй масса разложенной, частью алунизированной породы прорезана жилками и инкрустациями гипса и серы, свидетельствующих о прежней, более интенсивной деятельности.

В верхней части, где фумароллы были тоже менее активны, наблюдался характер инкрустаций другой, чем около более сильно действующих фумаролл. Серы здесь мало или она почти отсутствует; желтые выцветы менее распространены, преобладают белые, часто с зеленоватым оттенком. Эти выцветы в довольно грубых формах, пленочки толще, иногда принимают вид гроздевидных налетов. Почва, на которой находятся эти выцветы и из которой выбиваются газовые струйки фумаролл, — разложенная их газами вулканическая брекчия или аггломерат.

С северо-западной стороны конуса были исследованы четыре выхода фумаролл, обозначенные на плане кратера № 1, 2, 3 и 4.

1. Первый из них расположен на склоне среди группы других энергичных струй. Выход представлял круглое отверстие в коре серы, инкрустированное мельчайшими кристалликами. Вокруг выхода много эффоресценций сульфатов желтого и оранжевого цвета.

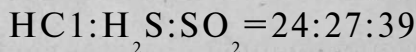
Исследование газа было произведено два раза: 27 и 28 августа 1931 г. Первый раз температура была  $112^{\circ}$ , во второй она повысилась до  $138^{\circ}$ . 14 августа температура была  $94^{\circ}$ , и тогда было измерено давление, превышавшее атмосферное на 18 мм водяного столба.

Пропуская газ через холодильник, было определено, что в нем содержится по весу около 95% водяного пара. Остальное количество по двум определениям указанным выше способом составляло (по объему):

	A (27/VIII)		B (28/VIII)	
HCl . . . . .	27		28	
H <sub>2</sub> S . . . . .	18	} 55	31	} 50 50
SO <sub>2</sub> . . . . .	37		19	
CO <sub>2</sub> . . . . .	15		19	
O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> . . . . .	3		3	
N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> . . . . .	28:1			
Температура . . . . .	112°		138°	

Изменение в отношении H<sub>2</sub>S: SO<sub>2</sub> правдоподобно, так как оно является величиной, сильно меняющейся от внешних условий. Находясь в поле струй фумаролл, непосредственно в зависимости от погоды и других причин, можно чувствовать преобладание запаха то сернистого газа, то сероводорода.

Кроме указанных приблизительных определений состава газа была сделана попытка оценить относительное количество  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{SO}_2$ , пропуская газ через раствор  $\text{AgNO}_3$ . Этот опыт дал отношение:



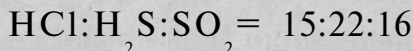
2. В той же группе выходов фумароллы была исследована струя, расположенная несколько южнее от предыдущей и ниже по склону, обладавшая более высокой температурой (от 167 до 282°). Выход представлял также отверстие в коре, образованной из серы. При ударе об эту корку возникают другие отверстия, из которых начинают дуть новые струи.

Одна проба была сделана 26 августа, когда температура была 167°, а давление на 15 мм водяного столба превышало атмосферное; вторая проба была произведена на следующий день (27-го), когда температура была 192°. В обоих случаях выход был каптирован.

Водяной пар и в этой фумаролле составлял 94%. Остальное в двух пробах дало такой состав (по обеим):

	C (26/VIII)		D (27/VIII)
	C (26/VIII)		D (27/VIII)
HCl . . . . .	9	. . . . .	18
H <sub>2</sub> S . . . . .	34	} 39	19
SO <sub>2</sub> . . . . .	5		39
CO <sub>2</sub> . . . . .	47	. . . . .	15
O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> . . . . .	5	. . . . .	9
N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> . . . . .	5,9		
Температура . . . . .	167°	. . . . .	192°

26 августа газ фумароллы был опробован также пропусканием через раствор  $\text{AgNO}_3$ ; из осадка получается отношение:



Расхождение в составе газов, определенном 26 и 27 августа, главным образом выражается в том, что во втором случае, т. е. при более высокой температуре, увеличилось количество  $\text{HCl}$ , и углекислота в значительной части заменилась сернистым газом. Как бы ни были грубы наши пробы, все же трудно сомневаться в том, что такое изменение состава газов действительно имело место. Проба с помощью  $\text{AgNO}_3$  сильно расходится с пробой раствора КОН, взятой несколько раньше в тот же день; сохраняется лишь грубо порядок отношения составных частей.

3. Выход фумароллы был расположен по соседству с предыдущим, несколько выше по склону. Газы выходили из маленького грота, образованного тоже серной коркой. Каптировать хорошо выход не удалось. Эта струя была самой горячей. Температура её за день (30 июля) до опыта была 337°, а так как в следующие дни по наблюдениям над другими фумароллами температура всех их возрастала, то во время опыта в данном выходе вероятно достигала до 350°.

Водяной пар составлял 96% по весу.

Остальная часть имела такой состав (по объему):

Е (31/VII)

HCl . . . . .	18	} 62
H <sub>2</sub> S . . . . .	20	
SO <sub>2</sub> . . . . .	42	
CO <sub>2</sub> . . . . .	14	
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	6	
N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> . . . . .	7,0	

Невольно обращает на себя внимание сходство этого состава с пробой D, полученной при втором опыте в предыдущей fumarolle (2).

4. Последняя fumarolla (4), подвергшаяся исследованию в этой части конуса, была расположена значительно выше всех предыдущих у края кратера, всего метров на пять ниже его края. Выход ее был каптирован. Температура достигала всего 90°. Водяной пар в выделяющемся газе составил около 80% по весу, а остальное (по объему):

F

HCl . . . . .	5
H <sub>2</sub> S . . . . .	сл.
SO <sub>2</sub> . . . . .	9
CO <sub>2</sub> . . . . .	70
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	16
N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> . . . . .	4,3

Главные особенности химического состава fumaroll, которые освещены произведенными исследованиями, могут быть удобно представлены и сравниваемы при помощи треугольной диаграммы, на которой в обычных для химических диаграмм барицентрических координатах выражены объемные отношения главных характерных составных частей, именно HCl, H<sub>2</sub>S + SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>. Такая диаграмма изображена на рис. 6.

Из нее видно, что исследованные fumarоллы Авачи отличаются высоким относительным количеством HCl, указывающим вероятно на близость вулканического очага. Водяной пар fumaroll, присутствующий, как мы видим, в количестве 95%, несомненно главным образом атмосферного происхождения; достаточно заметить, что значительную часть года в кратере лежит снег, а летнее время на Камчатке отличается обильными дождями. Относительно присутствия в fumarоллах магматической воды, разумеется, у нас нет никаких оснований для суждения. Понятно, что состав выходящих из отверстий fumaroll исследованных газов может быть очень далек от состава выделяющихся из магмы газов. В вулканах такого типа как Авача при изучении fumaroll приходится к ним относиться как к геологическому явлению, происходящему при определенных условиях, далеких от тех, при которых происходит выделение газов из магмы.

Кроме указанных в приведенных выше анализах главных составных частей фумаролл, в растворе КОН после поглощения им газа в пробах из всех фумаролл северо-западного склона конуса были обнаружены такие элементы:

бор (В) . . . . . в количестве сотых  $\frac{0}{10}$   
 мышьяк (As) . . . . . " " " "  
 сурьма (Sb) . . . . . следы " "  
 алюминий и железо (Al и Fe) — сотые  $\frac{0}{10}$

При пропускании газа из фумаролл с более высокими температурами через раствор едкого кали, раствор сначала немного бурет, затем зеленеет и наконец обесцвечивается при выпадении небольшого количества черного хлопьевидного осадка, в составе которого обнаружены глинозем и железо. Очевидно изменение окраски вызвано образованием коллоидных растворов сульфида железа.

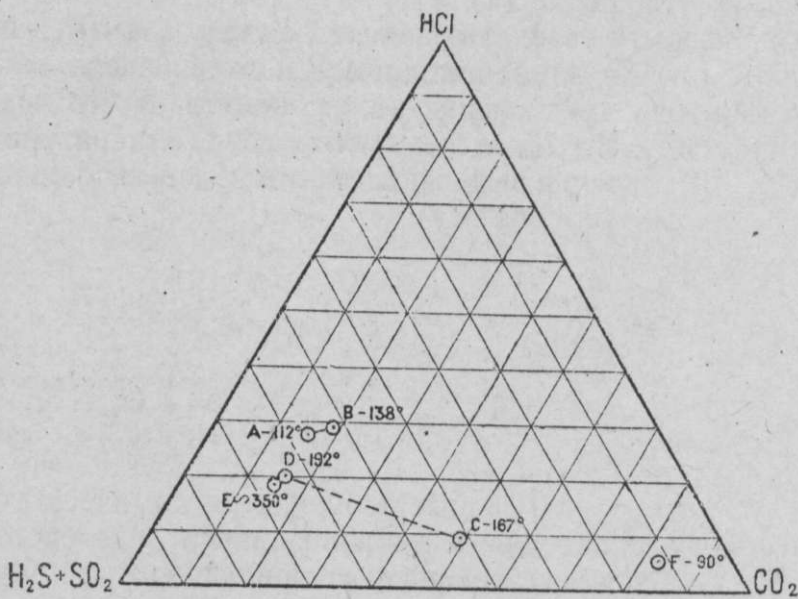


Рис. 6. Диаграмма составов газов фумаролл за исключением водяного пара. Точки, относящиеся к одной и той же фумаролле, соединены.

В простой пробе и в пробе непоглощенных

едкой щелочью газов определены были также и редкие газы. Ниже дано отношение редких газов к сумме их и азота для исследованных фумаролл  $\frac{Ar}{Ar+N_2}$  и отношение легких редких газов к тяжелым.

		Фумароллы №	3	4	5	6
$\frac{Ar}{Ar+N_2}$	Из простой пробы . .		0,0190	0,0075	0,0184	0,0105
	Из непоглощенного остатка . . . . .		0,0360	0,0100	0,0066	0,0155
$\frac{\text{Легкие}}{\text{Тяжелые}}$	Простая проба . . . .		0,0062	0,0280	0,0083	0,0280
	Непоглощенн. остаток . . . . .		0,0130	0,0015	0,0150	0,0055

Интересное наблюдение было сделано над изменением температур фумаролл в конце августа 1931 г. Эти наблюдения сильно

затруднялись непогодой со снегом и дождем и разразившейся в ночь на 29 жестокой снежной бурей. С трудом Л. Н. Добрецов добрался до fumaroll.

Измерения температуры производились в трех fumarollax и дали такие колебания:

	Фумароллы		
	1	2	3
14 августа . . . . .	94°	—	240°
26 " . . . . .	—	167°	—
27 " . . . . .	112°	192°	—
28 " . . . . .	138°	217°	300°
29 " . . . . .	—	—	—
30 " . . . . .	175°	225°	337°
31 " . . . . .	—	—	—
1 сентября . . . . .	220°	250°	—
2 " . . . . .	245°	282°	—
3 " . . . . .	220°	271°	—
4 " . . . . .	—	—	—
5 " . . . . .	—	—	—
6 " . . . . .	160°	227°	—

### Южное поле fumaroll (S)

Эти fumarollы были расположены большей частью на пологой площадке с наружной стороны конуса, засыпанной разложенным под действием fumaroll рыхлым пирокластическим материалом и усеянной отдельными разбросанными взрывными обломками. Эта площадь находится на потоке, вероятно вылившемся при извержении 1909 г. Частью fumarollы располагались ниже, на поверхности нижележащего потока и вблизи лавы 1926 г.

С внутренней стороны кратера его стенки против этого места обрывисты, и из них обильно выходили струи паров и газов, временами почти скрывающие скалистую стену, обильно покрытую желтыми и зеленоватыми, реже оранжевыми выцветами. На самой площадке с наружной стороны вулканического конуса пробиваются только слабые струйки газа, оставляющие вокруг выходов пятна налетов. В некоторых случаях эти налеты образуют отдельные пятна около выходов струй; окраска минералов изменяется здесь концентрическими зонами; в середине она обычно желтая, по краям белая; иногда в середине появляется сера; раскапывая рыхлую почву центральных частей таких пятен, можно было видеть, что сера пропитывает здесь рыхлый материал.

Но особенно характерно было для fumaroll южного поля расположение выцветов полосами, идущими концентрически по отношению к краю кратера. Эти полосы следуют, очевидно, концентрическим трещинам, по которым происходило оседание кратера, как это заметно в начале лавового потока 1926 г. Здесь массивная лава центральной части потока разбита на ряд отдельных глыб, из зияющих трещин между ними выходит пар. Некоторая зональность видна и у линейно вытянутых выходов fumaroll. Довольно

часто встречалось такое расположение выцветов: края трещины оторочены щеточками серы, затем уже на почве — инкрустации грязно-зеленого цвета, по краям „лепестков" переходящего в беловатый. В других местах выцветы разного цвета располагаются без определенного порядка, и оттенки переходят один в другой.

Что касается структур минеральных образований, они — те же, как и в северо-западном поле.

С южной стороны конуса фумароллы не были исследованы; они не имеют определенных выходов, просачиваясь сквозь слои лапилли и оставляя на них отложения, которые описаны ниже.

Южное поле непрерывно соединяется с третьим участком конуса, где с наружной его стороны выбиваются слабые фумароллы, именно с районом фумаролл вверху юго-восточного барранкоса.

### Юго-восточные фумароллы (SE)

Здесь выходы пара и газов очень слабые; они расположены на лавовых потоках, обнажающихся по бортам барранкоса, и в разложенных скалистых буграх его дна. Самая верхняя группа выходов находится в основании зуба. Отверстия фумаролл без видимых оторочек серы с характерным побурением породы; почва вокруг покрыта беловатыми инкрустациями солей с обычными формами. Ниже этих выходов фумаролл метров на 40, также на дне барранкоса, были слабые фумароллы, в выцветах которых были обнаружены сернокислые соли меди. К сожалению, вскоре после первого посещения выходы эти были погребены под происшедшей осыпью лапилли, и образцов для анализа собрать не удалось.

В общем фумароллы юго-восточного барранкоса очень слабые, и струй конденсирующегося, белого пара здесь обычно не видно.

Здесь были исследованы два выхода фумаролл.

5. Верхний расположен метров на 40 ниже края кратера; струя газов и пара выходила из отверстия в вертикальной стенке глыбы лавы. Температура  $90^\circ$ , и давление превышало атмосферное на 5 мм водяного столба.

Водяной пар составляет 93% по весу. Остальное имеет состав (по объему):

G	
HCl . . . . .	9
H <sub>2</sub> S . . . . .	следы
SO <sub>2</sub> . . . . .	0,5
CO <sub>2</sub> . . . . .	48,5
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	42
N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> . . . . .	14

В растворе небольшое количество мышьяка и алюминия.

6. Нижний выход, на 80 м ниже края кратера, представляет также отверстие в разложенной и каолинизированной лаве. Выход инкрустирован гипсом. Температура  $82^\circ$ , давление на 1 мм водяного столба превышает атмосферное.

Хлористый водород и сернистый газ присутствуют в незначительном количестве.

При пропускании через холодильник литра газа конденсируется 1,3 г воды; HCl и SO<sub>2</sub> вместе составляют, менее 1%, остальные приблизительно:

Н	
CO <sub>2</sub> . . . . .	6%
O <sub>2</sub> . . . . .	16%
N <sub>2</sub> . . . . .	78%

## § 5. Продукты минералообразования из фумаролл

Главнейшим из них является самородная сера, большей частью в виде обычной ромбической модификации, частью, как мы видели, даже в расплавленном виде.

Инкрустации серы образованы сростками мелких кристалликов ромбической серы, сливающихся в плотные агрегаты светлого зеленовато-желтого цвета с раковистым изломом и алмазным блеском и образующих снаружи друзы более крупнокристаллические, где можно видеть кристаллы с преобладающим развитием дипирамид (111), а иногда и довольно богатые гранями кристаллы/Крупные дипирамидальные кристаллы иногда с ступенчатыми гранями.

Ромбическая α-сера пронизывает также рыхлые массы разложенных пород, окружающих устье фумаролл, тесно смешиваясь с белым землистым веществом, состоящим главным образом из опала. Она образует также в нем тонкие кристаллические жилки. Преимущественно эта сера ассоциирована с гипсом.

Сера, которая застыла из расплавленного состояния, вытекши струйкой из устья фумароллы, в изломе имеет несколько более матовый блеск и иногда следы лучистой структуры. В небольшой голости в образце такой серы встречены вытянутые тонкие призматические кристаллики до 3—4 мм в длину с прямоугольными сечениями и косо срезанными окончаниями. Эти игольчатые кристаллики не имеют такого блестящего вида как кристаллики ромбической серы, но все же отблеск призматических граней видны. Очевидно мы имеем здесь дело с кристаллами моноклинной β-серы. Однако в шлифе из типичного образца такой застывшей из расплава серы можно видеть, что сера образует агрегат неправильно полиэдрических зерен размером около 0,5 мм, которые обнаруживают неразлично высокие цвета поляризации, двуосность и оптически положительный знак, тогда как β (и γ)-сера оптически отрицательна. Вероятно мы имеем параморфозу α-серы по β-сере. Наконец на кусочках лапилли были встречены также корочки серы несколько более яркого, чем обычно, желтого цвета и с пластинчатой структурой; кое-где на стенках на гладкой их поверхности видны наросшие тонкие таблички. Возможно, что мы имеем дело с третьей модификацией серы.

Микрохимическое испытание серы с вулкана Авача обнаружило в ней присутствие селена и теллура.

Определенный интерес возбуждает присутствие сассолина как указателя на возможное нахождение в каком-либо из вулканов Камчатки борной кислоты, может быть в более значительных размерах. Но по количеству первое место среди отложений фумаролл на Аваче принадлежит сульфатам глинозема, железа и магнезии.

Сассолин легко узнать по внешнему виду и его химическим, признакам. Под микроскопом можно видеть, что его налеты состоят из хорошо образованных гексагональных табличек размером чаще всего от 0,1 до 0,3 мм в ширину. Более крупные таблички, достигающие до 1—2 мм, представляют обычно сростки более мелких хорошо образованных кристалликов. Оптические свойства минерала обычные, характерна свойственная ему, благодаря высокому двупреломлению, псевдоабсорбция, видная в случайно расположенных поперек препарата табличках.

Не останавливаясь подробно на минералогическом составе всех собранных образцов, что может быть предметом особой статьи, мы отметим здесь их главнейшие особенности.

Два минеральных вида преобладают во всех образцах отложений, присутствуя однако в разном отношении. Во-первых, мы имеем здесь тонкие пластинки алуногена  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  в виде несколько удлиненных по одному направлению шестиугольных табличек с косым угасанием относительно удлинения. Угол погасания от  $Ng = 42^\circ$ . Углы шестиугольника совпадают с теми, какие наблюдались Бекке в алуногене из Тенерифа и другими авторами (Цамбонини, Скакки и др.). Во-вторых, существенную, или даже преобладающую составную часть выцветов образует тонковолокнистый минерал в иглах и волосках, иногда изогнутых, также косо погасающих. На основании показателя преломления и сопоставления анализов можно убедиться, что здесь мы имеем, несомненно, изоморфный ряд минералов, оканчивающихся, с одной стороны, галотрихитом  $FeSO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24 H_2O$  и с другой — пикерингитом  $MgSO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24 H_2O$ . Эти минералы, как известно, чрезвычайно похожи один на другой, отличаясь лишь лучепреломлением и отчасти тем, что волокна галотрихита несколько грубее, чем волокна пикерингита.

Кроме этих главных минералов, почти всегда в небольшом количестве входит в состав сульфатных выцветов и сера, иногда в прекрасно образованных богатых гранями микроскопических кристалликах желтого цвета.

В некоторых случаях встречаются кроме того псевдооктаэдрические темнозеленые кристаллики вольтаита; затем наблюдались гипс, ангидрит, тенардит. Анализы показывают присутствие солей политионовых кислот; с достоверностью нельзя было приписать их появление присутствию какого-либо минерального вида, однако может быть политионовые соединения мы имеем в комочках мель-

чайших желтоватых зернышек с относительно высоким светопреломлением.

Минералогический состав наших выцветов очень близок к тому, например, который устанавливает Мервин в выцветах с вулкана Лассен Пик. Близко отвечает им и химический состав. В таблице 2 приведены химические анализы отложений фумаролл Авачи, рассчитанные в ионах солей в безводном остатке, так же как это сделано в таблице анализов таких же отложений Лассен Пик приводимой в известной монографии Дэй и Оллена.<sup>1</sup>

На плане кратера (рис. 4) буквами NW обозначено положение фумаролл северо-западного склона, S — южного склона и SE — юго-восточного склона (см. табл. 2).

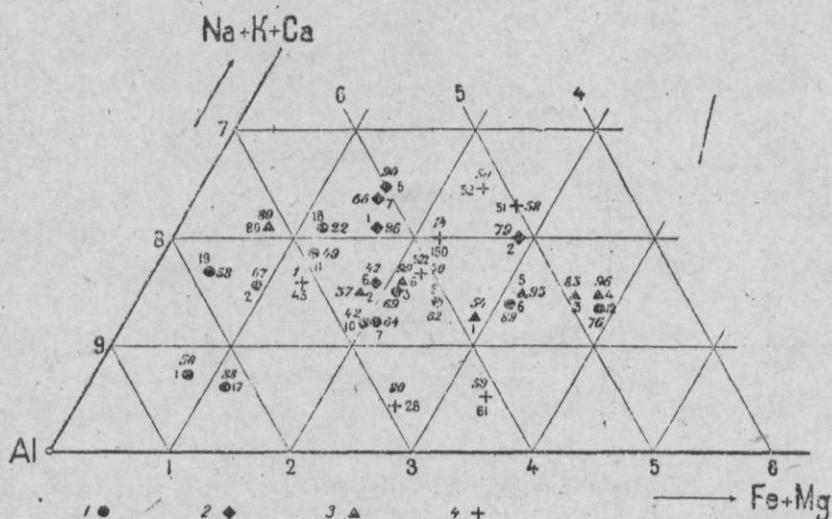


Рис. 7. Диаграмма составов инкрустаций около фумаролл.

1—северо-западные фумароллы; 2—южные фумароллы; 3—юго-восточные фумароллы; 4—для сравнения инкрустации Лассен-Пик.

Для того чтобы сопоставить между собой эти многочисленные анализы, можно также воспользоваться графическим методом. Для этого разобьем все катионы на три группы. На основании сказанного выше о минералогическом составе выцветов удобнее всего группы эти выбрать таким образом: первую составят ионы Al, вторую Fe + Mg и третью — щелочные металлы и Ca. Состав каждого отложения можно охарактеризовать отношениями этих групп  $Al:(Fe + Mg):(Na + K + Ca)$  и изобразить в виде точки в треугольнике по обычному методу. Сделав такое построение, мы получим диаграмму наших составов, изображенную на рис. 7, на которую нанесены также для сравнения составы отложений фумаролл вулкана Лассен-Пик. Рассмотрение диаграммы приводит к следующим выводам относительно наших фумаролл. Замечается некоторая неравномерность в разнообразии состава в разных

<sup>1</sup> Day and Allen. The volcanic action and hot springs of Lassen Peak.

полях фумаролл. Именно, в поле наиболее энергичных фумаролл северо-западного склона замечаем некоторое повышение содержания алюминия; в южных фумароллах, более слабых — железа и магния и наконец в самых слабых юго-восточных — щелочных металлов и кальция.

Причины этого различия, вероятно, надо искать в разнице хода минералообразования при различных физических условиях действия фумаролл.

## § 6. Разложение пород под действием фумаролл

Андезитовые лавы и пирокластический материал вблизи выходов фумаролл, действующих или уже исчезнувших, подверглись более или менее сильному разложению вплоть до превращения в аморфные полурыхлые массы белого, иногда светлорозового цвета.

При этом разложенная порода выцветает, принимает землистый излом, теряет свою структуру и пронизывается в более или менее значительном количестве гипсом, другими сульфатами и иногда серой. В некоторых местах на разложенных породах "зуба" наблюдались любопытные тонкие корочки марказита.

Под микроскопом можно проследить разнообразные пути изменений, приводящие к окончательному разложению породы. Очень часто в начале стадии мы видим лишь изменение полевого шпата, фенокристаллы которого макроскопически становятся белыми и опаловидными. Под микроскопом изменение плагиоклаза в фенокристаллах очень характерно: он по периферии или по спайности, а иногда изнутри или по концентрическим зонам замещается низко преломляющим изотропным веществом. В случае, когда замещение этим веществом зашло далеко, можно видеть, что в нем мы имеем не одно однородное вещество, а по крайней мере два вида одинаково изотропных и ясно различающихся по преломлению; их взаимные отношения характеризуются структурой таких аморфных псевдоморфоз по полевому шпату, похожей на петельчатую структуру серпентиновых псевдоморфоз по оливину. Преобладающим является опал. Повидимому реже наблюдается замещение плагиоклаза фенокристаллов мутным веществом, под микроскопом непрозрачным. Выделения цироксенов подвергаются различным изменениям: иногда мы видим периферическое замещение пироксена рудным веществом, которое распространяется внутрь кристалла, давая иногда формы, несколько похожие на графические прорастания; более часто гиперстен замещается мутной смесью, непрозрачной под микроскопом в проходящем свете и светло-красной в отраженном, состоящей очевидно из тонкой смеси гематита и бесцветного землистого вещества; иногда наблюдается превращение пироксена в прозрачное изотропное вещество опала же, окрашенное обычно в желтый цвет, и наконец в тонковолокнистые агрегаты с продольным расположением волокон по жилкам из слабо действующего на поляризованный свет минерала.

Анализы инкрустаций

1. Северо-запад

	1	2	3	4	6	7	8
Al <sup>III</sup> . . .	10,73	10,52	10,20	} сл.	7,82	10,10	9,20
Fe <sup>II</sup> . . .	1,42	1,57	4,75		8,20	4,15	4,75
Mg <sup>II</sup> . . .	0,59	0,46	0,92	0,02	0,46	0,99	1,28
Ca <sup>II</sup> . . .	сл.	0,83	0,15	нет	0,07	0,41	сл.
Na <sup>I</sup> . . .	0,66	1,16	1,76	} 0,10	1,56	1,04	1,26
K <sup>I</sup> . . .	0,35	0,53	0,44		0,22	0,48	0,85
SO <sub>4</sub> <sup>II</sup> . . .	85,10	84,20	78,80	0,12	70,00	80,00	80,00
S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>II</sup> . . .	нет	нет	3,67	нет	10,65	1,65	1,50
S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>II</sup> . . .	"	"	нет	"	0,20	0,23	0,91
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>II</sup> . . .	"	"	"	"	нет	нет	нет
Cl <sup>I</sup> . . .	0,35	сл.	сл.	1,33	0,33	сл.	сл.
P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>III</sup> . . .	0,07	0,09	0,17	нет	0,26	0,06	0,19
BO <sub>3</sub> <sup>III</sup> . . .	—	—	—	89,10	—	—	—
Сумма . . .	99,27	99,36	100,86	—	99,77	99,11	99,94

2. Южные фумаролы

	1	2	3	4	5	6	8
Al <sup>III</sup> . . .	8,94	9,96	7,30	7,20	7,45	10,54	7,00
Fe <sup>II</sup> . . .	4,92	2,10	9,18	11,60	8,37	7,10	1,40
Mg <sup>II</sup> . . .	1,84	1,56	0,85	0,20	0,29	0,06	0,15
Ca <sup>II</sup> . . .	0,10	сл.	нет	0,27	0,12	0,08	0,40
Na <sup>I</sup> . . .	1,51	1,71	1,64	1,62	1,63	2,22	} 1,62
K <sup>I</sup> . . .	0,29	0,35	0,58	0,24	0,21	0,21	
SO <sub>4</sub> <sup>II</sup> . . .	70,00	81,30	68,50	67,70	74,10	68,40	не опр
S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>II</sup> . . .	12,12	1,48	5,86	6,95	5,29	нет	—
S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>II</sup> . . .	нет	0,51	1,48	—	0,10	2,40	1,15
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>II</sup> . . .	0,06	нет	1,09	3,92	нет	3,31	—
Cl <sup>I</sup> . . .	нет	"	нет	нет	"	нет	нет
P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>III</sup> . . .	0,10	0,14	0,21	0,35	0,29	0,31	—
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>III</sup> . . .	нет	нет	—	есть	нет	есть	—
Сумма . . .	99,88	99,11	—	100,05	—	—	—

## около фумаролл

ные фумароллы

Таблица 2.

10	11	12	14	16	17	18	19	20
13,00	11,75	7,52	} 0,15	0,22	12,32	12,00	11,30	нет
3,37	2,00	9,90		—	1,65	0,99	0,79	"
2,05	0,93	1,34	—	нет	0,17	1,54	0,25	0,05
нет	0,09	0,48	28,75	29,50	0,40	нет	сл.	сл.
1,73	1,92	1,28	} 0,74	0,65	1,19	2,97	1,57	нет
0,22	0,36	0,48			0,29	0,14	0,88	0,20
60,00	82,30	68,20	69,00	70,50	84,50	81,90	85,00	0,07
нет	нет	8,60	—	—	нет	нет	нет	сл.
сл.	"	нет	—	—	"	"	"	нет
нет	"	"	—	—	"	"	"	"
19,40	0,22	0,40	1,35	—	0,13	0,44	"	8,15
1,10	0,16	1,10	—	сл.	0,08	сл.	1,10	—
—	—	нет	—	"	—	—	прис.	$S_0 = 30,56$
100,87	99,73	99,30	99,99	100,87	100,73	99,98	100,89	—

## 3. Юго-восточные фумароллы

1	2	4	5	6	7	8
8,70	6,41	} 21,70	9,65	11,90	10,10	} не опр.
4,55	5,88		4,12	3,02	5,40	
0,08	0,68	0,46	0,20	1,85	1,22	0,28
0,38	0,86	0,21	1,23	0,05	1,19	сл.
2,24	1,47	2,40	2,50	2,32	1,37	2,37
0,21	0,20	0,34	0,43	0,26	0,15	0,26
71,30	83,00	72,00	82,00	80,00	75,80	64,30
8,84	2,60	0,71	—	нет	нет	2,91
3,55	—	2,18	—	0,26	"	1,24
—	—	нет	—	нет	3,48	2,02
нет	нет	"	нет	"	нет	нет
0,19	0,10	0,23	—	0,10	0,27	0,18
нет	есть	нет	есть	—	—	сл.
100,04	101,20	100,23	100,13	—	—	—

Основная масса породы становится в несколько более измененных образцах в главной своей части аморфной, или сохраняя следы своей микролитовой структуры, или совершенно их утрачивая. Сульфаты, гипс, ангидрит и др., а также алунит и сера начинают отлагаться сначала на стенках пор и пустот в породе, но потом они проникают по трещинам и как бы разъедают ее массу. В некоторых случаях поры выстланы прозрачным коллоидной структуры веществом (может быть одной из разновидностей опала), которое местами обнаруживает тонкокристаллическое, почти скрытокристаллическое строение. Оно как будто распространяется в основную массу, разъедая ее. Иногда к этому веществу примешивается гипс.

Распространяясь жилочками в массу породы, сульфаты и алунит придают ей в некоторых случаях вид брекчии или микробрекчии, которую трудно отличить от пирокластической массы измененных обломков, пропитанных этими соединениями.

В шлифах чаще всего можно наблюдать гипс и ангидрит. Последний — хотя и в мелких, но обыкновенно хороших кристалликах, часто погруженных в тонкозернистую массу гипса, и нередко превращающийся в этот минерал.

Гипс или в таких же ясно различимых кристалликах, как ангидрит, образующих пучки и зернистые скопления, или в чрезвычайно тонкозернистых агрегатах, в которых даже трудно распознать природу минерала. Алунит образует зернистые агрегаты, и в пористых разностях породы или в туфовых и лапиллевых аггломератах иногда выстилает стенки пор и промежутков между обломками.

В более рыхлых и пористых образованиях в пустотах главным образом распространены щетки гипса, корочки его покрывают отдельные куски породы, в которые он проникает также по трещинкам.

Говоря о различных минеральных новообразованиях в разложенных около фумаролл лавах и пирокластических продуктах, необходимо упомянуть об интересных корочках марказита, покрывающих глыбы несколько разложенной, но еще крепкой лавы. Такие корочки наблюдались на породе, образующей упоминавшийся выше "зуб" на краю кратера. Они собраны были также с поверхности большой глыбы, скатившейся как раз, с этой стороны к подножию действующего конуса Авачи.

Корочки марказита толщиной около 1—2 мм покрывают поверхность глыб и обращают на себя внимание своим зеленовато-серым цветом. Металлический блеск заметен только в поперечном изломе, обнаруживающем часто неявственно радиально-волокнистое, частью зернистое строение. Минерал в отраженном свете сильно действует на поляризованный свет и поэтому должен быть признан за марказит. Это же было подтверждено и рентгенометрически на дебайевском снимке. Корочки марказита неправильно бугристой формы, имеют вид отложившихся в виде геля

наподобие столь распространенных в природе корочек лимонита. Их поверхность состоит из ряда небольших сферических, слабо выпуклых бугорков, из которых каждый в свою очередь покрыт шагренью из подобных же, но гораздо более мелких выпуклых бугорков второго порядка.

Тонкие пленки марказита, как уже было сказано, наблюдались также на измененном пирокластическом материале около выходов самых горячих фумаролл на небольшой площади, лишенной инкрустаций как серы, так и сульфатов. Интересные результаты дало химическое исследование этой измененной породы. Она состоит главным образом из опала и каолина, но в состав ее входят также в значительном количестве сернистое железо и в виде примеси тяжелые металлы: мышьяк, сурьма, висмут, медь, свинец, олово и цинк.

Сопоставляя состав выцветов сульфатов около фумаролл с характером изменения пород, через которые пробиваются газы, можно предположить, что вещество выцветов заимствовано главным образом из этих пород.

Действительно мы видим, что, разлагаясь, они превращаются главным образом в смесь опала и отчасти каолиновых минералов. Кремнезем таким образом фиксируется на месте в продуктах разложения. В то же время в вынесенных на поверхность отложениях сульфатов относительные количества оснований следуют приблизительно тому же порядку, в каком мы их находим в первоначальной породе: Al, Fe, Mg и Ca, Na, K. При этом, естественно, происходит некоторая дифференциация этих оснований, и потому нолучаются отклонения от первоначальных отношений. Обособление Ca в виде гипса наиболее заметно.