

В. И. ГОРЕЛЬЧИК, Л. А. БАШАРИНА, Л. Б. ДМИТРИЕВ

**РЕЖИМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА АВАЧИНСКОМ ВУЛКАНЕ  
В 1970 г.**

В 1970 г., как и в предыдущие годы, продолжались геофизические наблюдения за состоянием Авачинского вулкана.

Сейсмологические наблюдения осуществлялись на Авачинской сейсмической станции непрерывно с помощью аппаратуры регионального типа (увеличение  $8 \cdot 10^3 + 12 \cdot 10^3$ ) и временно с помощью двух высокочувствительных комплектов сейсмографов УСФ с пиковой характеристикой (с максимальным увеличением  $9 \cdot 10^4 - 10 \cdot 10^4$  на частотах от 10 до 30 *гу*). Первая высокочувствительная установка располагалась непосредственно на станции (в 6,5 км от кратера вулкана) и работала с октября 1969 по июнь 1970 г. включительно. Вторая группа (вертикальный и горизонтальный сейсмографы УСФ) располагалась в камере на экструзии «Верблюд». Сигнал по кабелю передавался на сейсмостанцию, где производилась регистрация. Все три комплекта аппаратуры работали от одного хронометра. Регистрация на экструзии «Верблюд» продолжалась с декабря 1969 по февраль 1970 г.

С октября 1969 по октябрь 1970 г. постоянной сейсмической станцией «Авача» было зарегистрировано 360 местных землетрясений с  $S - P \leq 4,0$  сек и  $K \leq 6$ . Большинство этих землетрясений по аналогии с наблюдавшимися в прошлые годы может быть отнесено к вулканическим землетрясениям, происходящим в постройке Авачинского вулкана на глубинах, не превышающих 1—2 км. Временными высокочувствительными станциями за период их работы было зарегистрировано около 450 землетрясений.

Было рассмотрено изменение числа и энергии вулканических землетрясений во времени. В качестве относительной энергетической характеристики землетрясений принималась плотность потока энергии поверхностных волн, которая пропорциональна квадрату колебательной скорости  $(A_{max}/T)^2$ , где  $A_{max}$  — амплитуда максимального смещения в микронах, взятая на той компоненте, где смещение больше;  $T$  — период волны. Суммарная энергия землетрясений за декаду подсчитывалась в

условных единицах как  $\sum_{i=0}^N \left( \frac{A}{T} \right)_i^2$ , а величина условной деформации,

возникающей в процессе высвобождения сейсмической энергии серии землетрясений за это же время, — как  $\sqrt{\sum_{i=0}^N \left( \frac{A}{T} \right)_i^2}$ .

На рис. 1 представлены графики подекадного изменения числа землетрясений и величины суммарной условной деформации за период с октября 1969 по октябрь 1970 г. Из графиков видно, что за рассматриваемое время наблюдались два периода усиления сейсмической

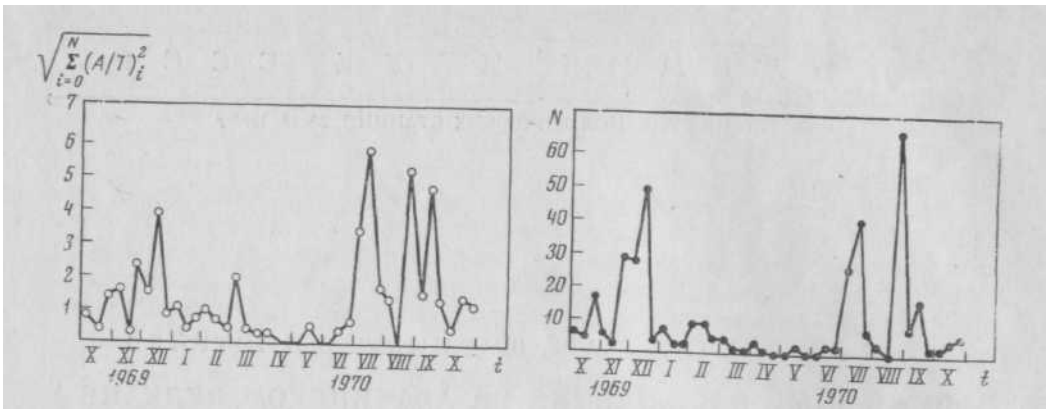


Рис. 1. Графики подекадного изменения числа землетрясений и величины условной деформации за период с октября 1969 по октябрь 1970 г.

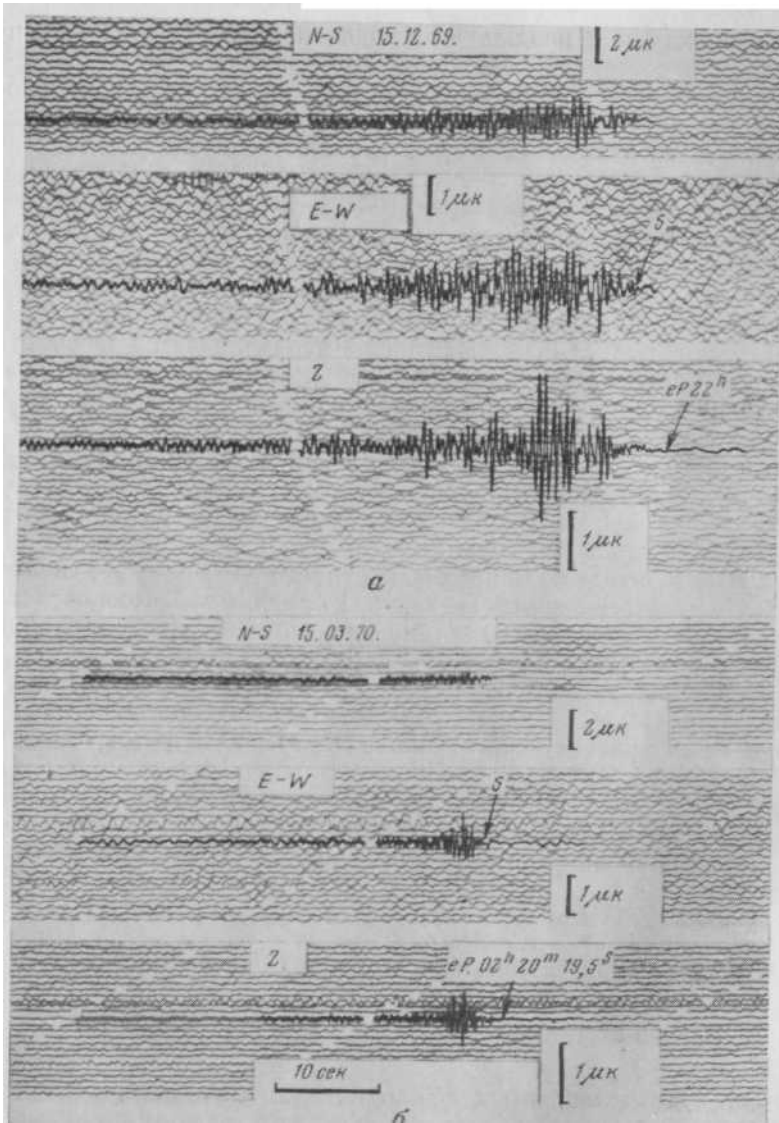


Рис. 2. Образцы записи вулканических землетрясений, зарегистрированных сейсмостанцией «Авача» в периоды «зимнего» (а) и «летнего» (б) усиления сейсмической активности

активности: в ноябре — декабре 1969 и в июле — сентябре 1970 г. Характер нарастания числа и энергии землетрясений в «зимний» и «летний» периоды активности не одинаков. Отличаются по форме записи и землетрясения, преобладающие в тот или другой период. Для землетрясений, отмечавшихся в ноябре — декабре 1969 г., характерны несколько большие периоды в максимальной фазе и большая продолжительность записи (рис. 2). Подобные «сезонные» изменения сейсмической активности отмечаются на ряде вулканов, вблизи которых ведутся достаточно чувствительные наблюдения. Для гавайских вулканов обнаружено, например, что в спокойные периоды вулканические землетрясения чаще возникают в зимние месяцы (Furumoto, 1957). Максимумы сейсмической активности в мае и декабре каждого года наблюдаются на вулкане Суфриер, где они связываются с миграцией магмы вверх и вниз в канале (Shepherd, 1969). Говорить о природе землетрясений, происходящих вблизи Авачинского вулкана, находящегося в течение 25 лет в спокойном состоянии, в настоящее время трудно. Однако наличие подобных землетрясений может, по нашему мнению, свидетельствовать о существовании определенных напряжений в постройке вулкана. Для исследования характера проявления этих напряжений было изучено распределение вулканических землетрясений по энергии.

Закон повторяемости землетрясений, как известно, является общей статистической закономерностью, проявляющейся при разрушении горных пород (Виноградов, 1964), и выражается соотношением

$$\lg N = a - \gamma \lg E.$$

В двойной логарифмической системе координат распределение имеет вид прямой, а величина  $\gamma$  характеризует наклон этой прямой. Изучение распределения числа упругих импульсов по энергии (Виноградов, 1964; Каган, 1968) показало, что наклон  $\gamma$  графиков повторяемости меняется в процессе разрушения. В частности, уменьшение величины  $\gamma$  может происходить в периоды повышения общего напряженного состояния объекта исследования (Федотов, 1969; Мысина, 1969).

В настоящей работе распределение  $N(E)$  было представлено как распределение  $N(A/T)$ . Нас интересовала не абсолютная величина коэффициента  $\gamma$ , а его относительные изменения во времени. Все землетрясения делились на классы по величине  $A/T$ : 0,2—0,3; 0,3—0,5; 0,5—0,8; 0,8—1,3; 1,3—2,2 и т. д. так, чтобы величины  $\Delta \lg \left( \frac{A}{T} \right)_i = \lg \left( \frac{A}{T} \right)_{K+1} - \lg \left( \frac{A}{T} \right)_K$  для каждого класса были близки между собой. Чтобы получалась равномерная шкала в логарифмическом масштабе, все классы приводились к одной «ширине», соответствующей величине  $\Delta \lg \left( \frac{A}{T} \right)_0 = 0,22$  (класс 0,3—0,5). Для этого при построении графиков повторяемости число землетрясений каждого класса делилось на величину  $\frac{\Delta \lg \left( \frac{A}{T} \right)}{\Delta \lg \left( \frac{A}{T} \right)_0}$ . Число толчков данного класса относилось к середине условно-

го энергетического интервала. Графики повторяемости строились для годовых интервалов времени, за начало отсчета был принят октябрь 1964 г. Значения коэффициента  $\gamma$  подсчитывались по методу наименьших

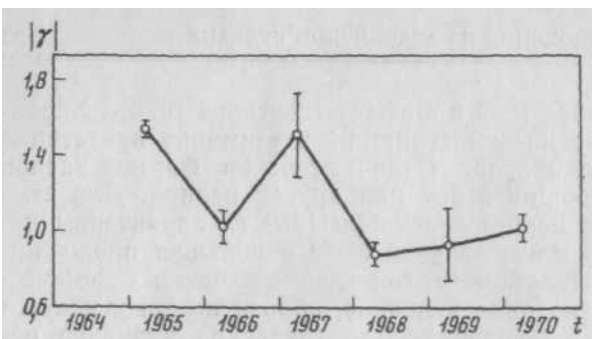
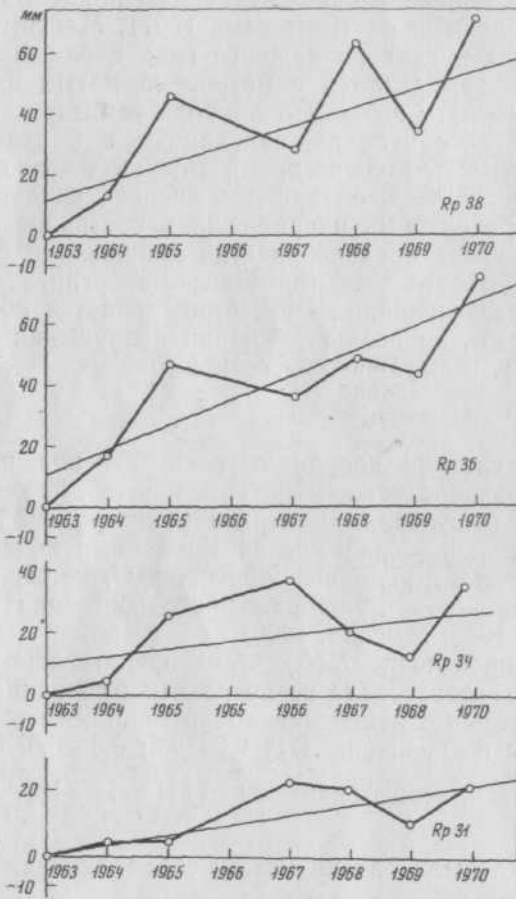


Рис. 3. График изменения величины  $\gamma$  во времени



Рисю4. Изменения абсолютных отметок реперов Авачинского полигона  
Результирующая вычислена по способу наименьших квадратов

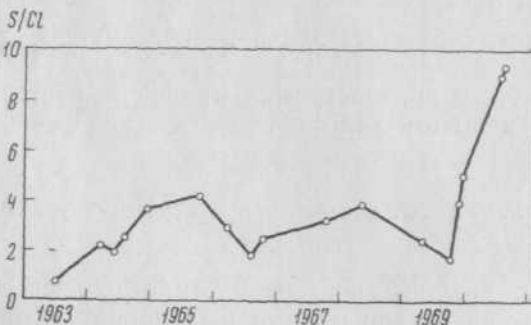


Рис. 5. Изменение отношения  $S/Cl$  в газах вулкана Авачинский

квадратов. На рис. 3 показано поведение величины  $\gamma$  во времени. «Усами» показаны средние квадратические ошибки определений  $\sigma_\gamma$ . Несмотря на то, что эти ошибки достигают в отдельные годы 20%, из графика  $\gamma(t)$  можно заключить, что с 1964 по 1970 г. наметилась тенденция к уменьшению величины  $\gamma$ . Это значит, что в последние годы возросло относительное число сильных землетрясений, что может свидетельствовать о постепенном возрастании напряжений в постройке Авачинского вулкана.

**Геодезические наблюдения.** Предварительная обработка результатов высокоточного нивелирования Авачинского полигона показала дальнейшее увеличение абсолютных отметок реперов, находящихся в зоне влияния вулкана. Средняя скорость поднятия составляет 5—6 мм в год. Как и в прошлые годы, область наиболее активных вулcano-тектонических движений ограничивалась расстоянием 10—12 км от вулкана. Блок земной поверхности, выделенный ранее (Дмитриев, 1970), находящийся на расстоянии от 9 до 19 км и испытывающий плавные опускания в период между 1967 и 1969 гг., в 1970 г. поднялся почти до уровня 1967 г., а средняя скорость наклона составила в 1970 г.  $2,4 \cdot 10^{-6}$  рад в год. Причем если для опускания до уровня 1969 г. понадобилось около двух лет, обратный процесс занял всего лишь год, что может указывать на некоторую активизацию процессов, контролирующих смещения земной поверхности. Как и прежде, область вертикальных деформаций отмечается на расстоянии не более 20 км от вулкана.

Геодезические работы на кратере вновь показали отсутствие сколько-нибудь заметных плановых деформаций сети микротриангуляции. Следует отметить увеличение скорости сползания в кратер площадки, на которой находится домик и землянка. Если в период с 1962 по 1965 г. скорость сползания составляла 12—15 см в год (Дмитриев, 1967), то с 1966 по 1970 г. скорость сползания достигла 22—25 см в год. Внутренние края площадки уже начали обрушиваться в кратер, и не исключено, что в дальнейшем рухнет вся площадка.

В 1970 г. впервые на Авачинском вулкане были проведены работы по определению уклонений отвесных линий методом синхронных измерений вертикальных углов. Как известно, вертикальные углы измеряются от направления отвесной линии в данной точке. Проводя эту работу, мы исходили из предпосылки, что периферический магматический очаг, расположенный под вулканом, благодаря избыточной плотности его пород должен отклонять отвесную линию в сторону центра масс системы постройка вулкана — очаг. Если предположить, что центр масс системы в плане совпадает с топографическим центром вулкана, то уклонение отвесных линий в прикратерной зоне должно быть минимальным. Были измерены вертикальные углы подножие — кратер и кратер — подножие. Пунктами измерений служили реперы № 36, 37 и 34 Авачинского полигона и репер микротриангуляционной сети на кратере. Измерения проводились одновременно в течение нескольких дней и ночей большим числом полных приемов. Уклонения отвесных линий для разноудаленных от вулкана реперов составили от 168 до 192" при средней квадратичной ошибке величины  $\Delta\alpha$  не более 5,0 сек. Как и предполагалось, вектор уклонения отвеса направлен в сторону центра масс системы постройка — очаг, однако полученные величины уклонений значительно больше ожидавшихся нами. Удовлетворительного объяснения этому факту пока не найдено (рис. 4).

**Химический состав фумарольных газов.** Газы, как наиболее подвижная составляющая магмы, первыми реагируют на изменения внешних условий (давление, температура, тектонические нарушения) и могут

## Состав газа вулкана Авача

Место отбора	Дата взятия пробы	Т °С газа	Газы без паров			
			HCl	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Фумарола «Серный гребень»	5.08.1963	90	0,0	0,0	0,23	0,0
	25.08.1963	90	0,0	0,0	15,15	3,05
	28.08.1963	90	0,0	2,04	1,73	0,54
	10.09.1963	90	0,0	0,0	0,15	0,97
	28.03.1964	90	0,39	0,0	0,96	0,0
	5.06.1964	90	0,25	0,51	0,0	0,0
	6.06.1964	90	0,0	0,0	1,17	0,0
	5.08.1965	92	0,19	0,0	0,54	0,32
	5.08.1965	92	0,59	0,0	1,01	0,70
	3.07.1966	90	1,01	1,14	0,70	0,15
	24.08.1966	91	0,62	0,90	0,11	0,65
	18.06.1967	90	0,69	0,93	0,57	0,0
	30.05.1968	90	1,06	0,39	0,41	3,36
	30.05.1968	91	0,0	0,0	0,0	3,30
	4.05.1969	92	1,39	1,35	0,0	2,06
	3.09.1969	95	1,95	1,61	0,0	1,84
6.07.1970	92	0,16	0,79	0,65	0,0	
6.07.1970	92	0,35	0,72	0,91	1,56	
Фумарола 4	28.08.1963	170	1,90	0,15	0,25	0,0
	6.06.1964	170	0,64	0,0	3,19	0,0
Фумарола «Дно кратера»	17.09.1963	550	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	17.09.1963	790	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,0
	14.07.1964	790	Не опр.	0,0	2,70	0,0
	14.07.1964	790	1,56	1,05	3,00	0,0
	21.08.1964	800	0,59	0,0	1,01	0,0
	23.08.1964	800	6,64	1,41	5,56	0,0
	6.09.1964	800	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,0
	16.09.1964	800	Не опр.	Не опр.	0,0	0,0
	5.08.1965	800	8,40	4,91	3,63	0,0
	5.08.1965	800	0,95	0,0	1,20	0,0

Примечание. За 1963—66 гг. газы анализировались В. И. Капустиной и Г. И. Кац, отобраны Г. И. Арвсаной, Г. С. Штейнбергом, К. А. Скрипко.

За 1967—68 гг. аналитик Чеглецова Е. И., отобраны Чеглецовой Е. И., Шуваловым Р. А. и Некрасовой Г. Ф.

За 1969—70 гг. аналитик Алексеева Т. Г., отобраны В. В. Сорокиным, Т. Г. Алексеевой и Л. Вергасовой.

Все расчеты с учетом конденсата произведены Л. И. Башариной.

быть использованы для прогноза извержений. В помещенной таблице представлен состав газов вулкана Авачинский за 1963—1970 гг. Газы отбирались из наиболее активных фумарол — «Серный гребень» и «Дно кратера». Сведения о расположении и характере этих фумарол подробно изложены в статье Кирсанова и др. (1964). В составе фумарольных газов преобладает CO<sub>2</sub> (63—99% без воды и воздуха). В фумаролах «Серный гребень» наряду с CO<sub>2</sub> возрастает роль газов серы (SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>,

(в объемных %)

воды, О»			Фумарольные газы			Без O <sub>2</sub> и N <sub>2</sub>			
CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	Сумма вулк. газа	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> и редкие	H <sub>2</sub> O	газ	N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	S / Cl
99,72	0,0	0,0	7,10	18,35	74,55	93,50	1 50	4,05	
81,80	0,0	0,0	18,09	17,40	64,50	94,50	5 50	3,7	—
95,69	0,0	0,0	50,80	15,70	33,50	95,35	4,65	2,2	—
93,02	0,07	0,80	70,04	9,50	20,46	93,70	6,30	2,16	—
93,34	0,0	0,31	95,70	0,55	3 75	92,50	7,50	6,8	2,2
93,78	0,0	0,46	43,30	11,30	45,40	97,50	2,50	4,0	2,0
93,83	0,0	0,0	38,50	12,40	49,10	97 50	2,50	3,9	—
93,95	0,0	0,0	83,40	2,65	8,95	95 75	4 25	3 4	4,2
93,00	0,0	0,0	66,30	6 50	27,20	90,50	9 50	4,2	2 9
97,00	0,0	0,0	50,50	14,50	35,00	93,52	3,48	2,4	1,9
97,72	0,0	0,0	67,20	6,40	26,40	93,60	3,40	4 1	2 7
97,81	0,0	0,0	66,56	7,10	26,34	91,50	5,50	3,7	2,2
94,78	0,0	0,0	81 25	5,05	13,70	95,60	4,40	2,7	3,9
98 70	0,0	0,0	80 10	2 70	17,20	95,60	4,4	6,4	—
95,20	0,0	0,0	46,40	11,07	42,53	96,25	3,75	3,8	2,4
94,60	0,0	0,0	4,30	19,80	75 90	99,70	0,30	3,8	1,8
93,40	0,0	0,0	25,12	15,10	59,63	97,50	2,50	3 9	9
93,21	0,0	0,0	23,50	13,85	57,85	97,00	3,00	4 2	9,2
97,63	0,0	0,0	83,25	5 60	11 15	91,30	8,70	2	0,8
96,12	0,0	0,05	94,33	0,95	4 67	92,7	7,30	4,9	5
95,30	1,71	2,99	11,70	27,35	60,95	93,0	2,0	2,3	—
93,17	1,83	0,0	5,45	24,55	70,00	99,20	0,8	2,3	—
80,57	0,19	16,54	53 61	4,29	42 10	He опр.	—	9 8	—
63,05	0,76	30,53	26,2	10,30	63,50	97,6	2,4	6,2	2,5
95,61	2,53		3,95	13,60	77,45	93,40	1,60	4,1	1,08
85,06	1,33		20,50	15,80	63,70	93,70	1,30	4,0	1,05
92,31	3,42	4,27	5,85	17,55	76,60	He опр.	—	4,4	—
93,23	3,36	3,36	5,95	17,25	76,80	He опр.	—	4,4	—
76,66	2,10	4,25	9,65	17,10	73,25	He опр.	—	4,3	1,02
86,00	0,0	11,85	37,80	12,20	50,00	93,90	3,10	4,1	1,26

H<sub>2</sub>S). Суммарная концентрация их находится в пределах от 0,5 до 18%. Высокотемпературные газы (550—800°) отличаются высоким содержанием CO и H<sub>2</sub> (в сумме от 3 до 31%) и максимальными концентрациями HCl (свыше 8%). Из 30 проанализированных проб газа содержание отдельных компонентов сильно варьирует. Однако можно отметить, что отношения S/Cl в газах в период 1963—1969 гг. находились в пределах 1—5 независимо от температуры. В среднем из 17 проб газа эти отношения составили величину 2,3, а в газах за 1970 г. отношения S/Cl составили 9, т. е. в 4 раза выше (рис. 5).

Газы серы менее растворимы в магме, но более чувствительны к изменениям давления и температуры, чем другие вулканические газы. В период активизации вулкана они легко отделяются и отношение S/Cl в газах резко возрастает. Повышение в вулканических эманациях кон-

центрации газов серы и особенно  $SO_2$  может служить показателем усиления активности вулкана, как это было отмечено при изучении фумарольной деятельности других вулканов Камчатки и Курильских островов: Шивелуча, Безымянного (Башарина, 1957), Эбеко (Сидоров, 1965). Содержание радона в пробах вулканического газа, отобранных из кратера Авачинского вулкана в июле 1970 г., составило в среднем 8,5 эманации (данные А. М. Чиркова).

## ВЫВОДЫ

Анализ и сопоставление результатов режимных сейсмологических и геодезических наблюдений в районе Авачинского вулкана позволяют предположить, что выявленные тенденции к уменьшению величины  $u$  и увеличению абсолютных отметок реперов у подножия вулкана, а также отмеченный в последние годы рост отношения  $S/Cl$  в фумарольных газах обусловлены, по-видимому, единым процессом, приводящим к постепенному росту напряжений в постройке вулкана. Не исключено, что все это свидетельствует о предстоящем извержении вулкана.

## ЛИТЕРАТУРА

- Башарина Л. А.* Фумарольные газы вулканов Ключевского и Шивелуча. Труды Лабор. вулканол. АН СССР, 1957, вып. 13.
- Виноградов С. Д.* Акустические наблюдения процессов разрушения горных пород. М., «Наука», 1964.
- Дмитриев Л. Б.* Повторные геодезические работы на Авачинском вулкане. Бюлл. вулканологических станций, № 43, 1967.
- Дмитриев Л. Б.* Изменение отметок реперов Авачинского полигона в 1967—1968 годах. Бюлл. вулканологических станций № 46, 1970.
- Каган Я. Я.* Исследование дальности приема сейсмоакустических импульсов. Краткий научный отчет, Институт горного дела им. Скочинского. М., 1967.
- Кирсанов И. Т., Медведева Г. Г., Серафимова Е. К.* Фумарольная деятельность Авачинского и Корякского вулканов. Бюлл. вулканологических станций, № 38, 1964.
- Мысина Л. Г.* Исследование сейсмического режима и режима выбросоопасности угольных пластов Донбасса. Сб. Труды III Всесоюзного симпозиума по сейсмическому режиму. Новосибирск, 1969.
- Сидоров С. С.* Активизация вулкана Эбеко в 1963 г. и эволюция его гидротермальной деятельности в предшествующий период. Бюлл. вулканологических станций, № 40, 1965.
- Федотов С. А.* О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
- Shepherd F. B.* Volcano-seismic Crisis in Monsterrat, West Indies, 1966—1967. Abstracts of Symposium on Volcanoes and their Roots. Oxford, England, 1969.
- Furumoto S.* Some Eruptions and Earthquakes. Bulletin of the Volconological Society of Japan, v. 2, No 1, 1957.