

Т. П. КИРСАНОВА, А. М. РОЖКОВ

**ТЕПЛОВОЙ ПОТОК
В КРАТЕРЕ НОВОМ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ**

В 1966—1968 гг. нами были проведены работы по определению выноса тепла в кратере Новом вулкана Шивелуч.

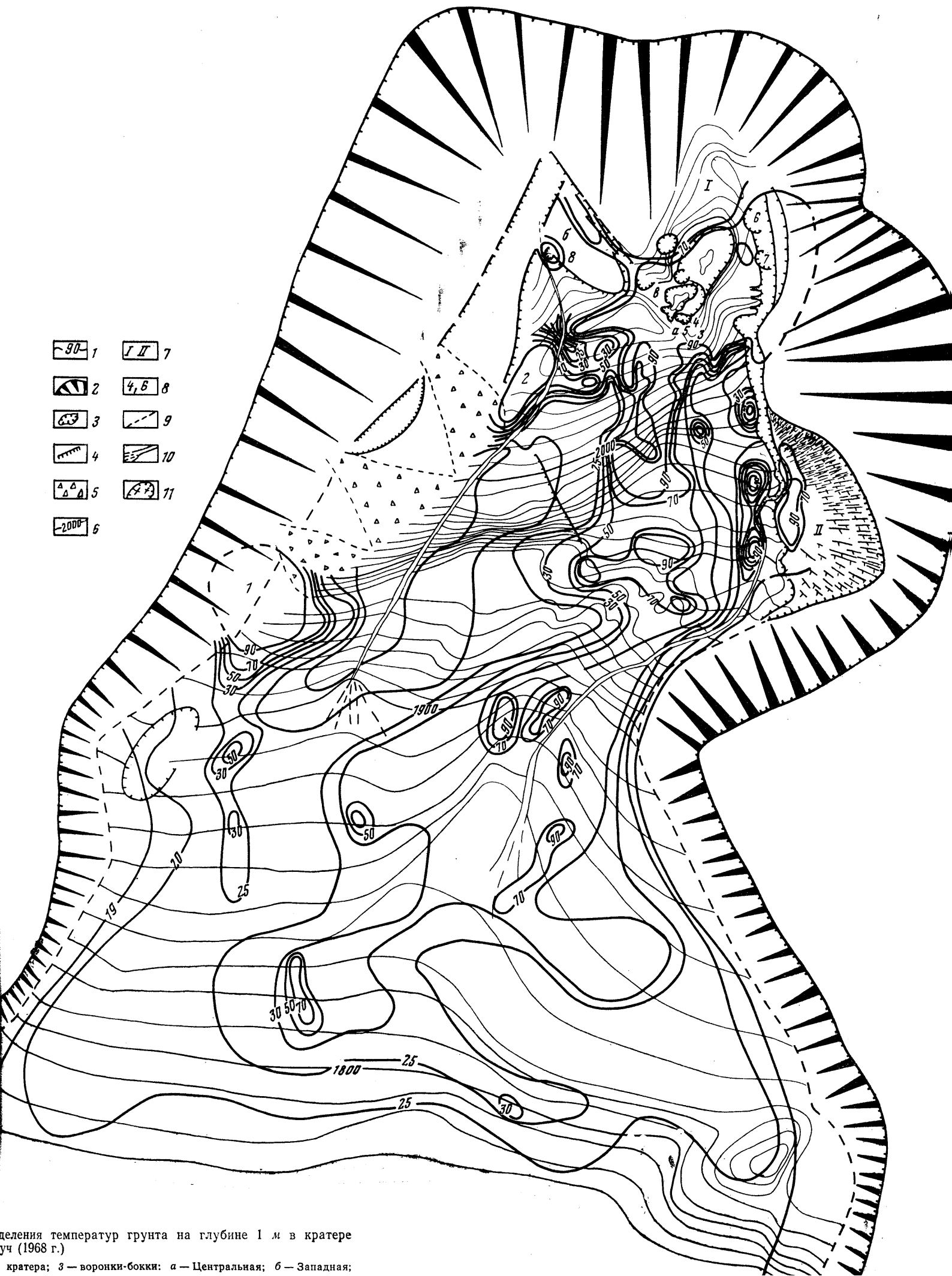
Эксплозивный кратер Новый образовался в результате взрыва 12.XI.1964 г. на месте ранее существовавших экструзивных куполов. Формирование самого молодого купола — Суелича — происходило с 1944 по 1951 г., степень «молодости» остальных куполов обычно определялась интенсивностью фумарол на них.

В днищах взрывных чаш кратера обнажились транзитные части экструзий, в разной степени присыпанные пирокластическим материалом последующих более мелких взрывов. В результате последних образовалось несколько воронок, расположенных на дне и склонах Северной взрывной чаши (на рис. 1, I, а, б, в и др.). Из десяти воронок по интенсивности выноса тепла фумаролами выделяются две воронки (бокки), которые, вероятно, являлись центрами извержения агломератовых потоков. Относительно неглубокое залегание магматического расплава, давшего эти потоки, отражается на поверхности в форме интенсивной деятельности высокотемпературных фумарол в этих воронках. На эти активные воронки — Центральную и Западную (а, б на рис. 1) — приходится 90% всего тепла, выносимого фумарольными струями в кратере (табл. 1). Пар с температурами 240—300°С и с высокими скоростями (80—150 м/сек) вырывается из донных фумарол бокк. Остальные фумарольные поля приурочены к обнажившимся в результате взрыва площадям древних экструзий (на рис. 1 обозначены цифрами: 1, 2, 3, 4, 6, 7). Интенсивность фумарольной деятельности на них слабее.

На термометрических схемах видно, что наиболее прогреты дно Северной (I) взрывной чаши, восточная часть Южной (II) взрывной чаши и район Первого фумарольного поля (см. рис. 1, 2). Изотермами 50—70° и 70—90° оконтуриваются присыпанные обломочным материалом трещины. В целом температура грунта снижается в направлении к южной части кратера.

При определении теплового потока учитывались вынос тепла сосредоточенными струями пара, потери тепла в результате рассредоточенного парения с поверхности грунта и теплоотдача грунта при теплопроводности. Эта методика разработана применительно к вулканическим постройкам и изложена в литературе (Аверьев, Вакин, 1966; Поляк, 1965, 1966).

Вынос тепла сосредоточенными паровыми струями (Q ккал/сек) определялся как произведение поперечного сечения выходного



деления температур грунта на глубине 1 м в кратере
 уч (1968 г.)
 кратера; 3 — воронки-бокки; а — Центральная; б — Западная;

Таблица 1

Вынос тепла сосредоточенными парогазовыми струями кратера Нового

Название фумарольной площадки	$t, ^\circ\text{C}$	$S, \text{ м}^2$	$W, \text{ м/сек}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$P, \text{ кг/сек}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$Q, \text{ ккал/сек}$
Первое поле	98	0,015	30	0,46	0,20	639,9	134
	98	0,0042	70	0,46	0,06	639,9	87
					0,26		221
Второе поле	120	0,0048	70	0,438	0,15	649,4	100
	98	0,036	20	0,46	0,33	639,9	211
	96	0,018	10—15	0,46	0,10	639,0	67
					0,58		378
Третье поле (трещина на куполе)	150	0,01	50	0,41	0,20	663,5	133
	98	0,0525	30	0,46	0,73	639,9	445
	98	0,03	15	0,46	0,21	639,9	139
					1,14		717
Пятое поле (Центральная активная воронка)	300	1,24	150	0,301	56,00	734,4	40 979
	240	0,54	80	0,336	14,50	705,7	10 244
	240	0,096	30	0,336	0,96	705,7	683
	98	0,06	15	0,46	0,42	639,9	183
					71,88		52 089
Седьмое поле (Суелич)	93	0,28	33	0,46	4,30	639,9	2 720
	98	0,15	21	0,46	1,46	639,9	928
	93	0,03	18	0,46	0,25	639,9	160
					6,01		3 803
Восьмое поле (Западная воронка)	280	0,156	160	0,312	7,79	724,8	5 644
	120	0,09	90	0,438	3,55	649,4	2 304
	98	0,135	80	0,46	5,00	639,9	3 091
	98	0,03	30	0,46	0,42	639,9	269
	98	0,054	20	0,46	0,50	639,9	320
					17,26		11 628
Трещина на Южном склоне	96	0,0075	15	0,46	0,05	639,0	33
	96	0,033	6	0,46	0,10	639,0	57
					0,15		90
					96,70		69 013

отверстия ($S \text{ м}^2$) на скорость струи пара ($W \text{ м/сек}$), его плотность ($\rho \text{ кг/м}^3$) и теплосодержание ($i \text{ ккал/кг}$) (табл. 1).

Для напорных струй насыщенного и перегретого пара проводились измерения температуры, скорости его истечения и сечения выходного отверстия. На участках, где сосредоточены многочисленные небольшие струи, при подсчете бралась усредненная скорость и суммарная площадь сечений. Скорость истечения парогазовой смеси определялась с помощью прибора ПВД, работающего по принципу трубки Пито. Величина теплосодержания и плотность пара с температурами 96—300°С при атмосферном давлении на высоте 2000—2100 м (абсолютная высота кратера вулкана Шивелуч) заимствованы из таблиц М. П. Вукаловича (1965).

Всеми учтенными фумарольными струями кратера Нового выносятся 69 Мкал/сек тепла, или в весовом выражении — 96,7 кг/сек пара (табл. 1).

Т а б л и ц а 2

Вынос тепла в результате рассредоточенного парения и теплопроводности

Температурный интервал, °С	Модуль парения, г/сек·м ²	Кондуктивный тепловой поток, ккал/м ² сек	Площадь, м ²	Потери тепла, ккал/сек в результате	
				площадного пропаривания	теплопроводности
30—50	—	1,1 · 10 ⁻³	398 000	—	438
50—70	—	9,3 · 10 ⁻³	147 000	—	1 367
70—90	0,064	5,6 · 10 ⁻²	142 000	9 038	7 952
90 и выше	0,192	9,2 · 10 ⁻²	324 000	62 208	29 800
		Итого	1 011 000	71 396	39 557

Площади, окружающие фумаролы, представляют собой участки рыхлой пропаренной породы с температурой 90°С и выше, местами покрытые корочкой (2—3 мм) возгонов — выпотов. Сквозь нее пробиваются многочисленные мелкие и мельчайшие паро-газовые струи. На таких площадках рассредоточенного парения производилось измерение весового расхода пара в секунду с единицы площади, т. е. определение модуля парения, по методике, разработанной Е. А. Вакиным и Б. Г. Поляком при исследовании теплового потока в кратере вулкана Мутновского (1961—1963 гг.). Величина модуля парения определялась по формуле:

$$M = \frac{n}{\tau} \cdot \frac{1}{\pi R^2} \text{ г/сек} \cdot \text{м}^2,$$

где: n — количество образующегося конденсата, г, τ — время измерения, сек, R — радиус цилиндра (в нашем случае $\pi R^2 = 0,1 \text{ м}^2$).

Средний модуль парения, вычисленный из одиннадцати определений на участках, прогретых выше 90°С, равен 0,3 г/сек·м² (удельный вынос тепла 0,192 ккал/сек·м²). Колебания его достигают пределов 0,15—0,5 г/сек·м². На площадках, прогретых слабее, с температурой поверхности грунта 70—90°С модули парения ниже (0,1 г/сек·м², или 0,064 ккал/сек·м²). Всего посредством пропаривания в пределах кратера на площади 0,466 км² выносятся 71 396 ккал/сек тепла (табл. 2).

Плотность кондуктивного теплового потока на вулкане Шивелуч рассчитывалась по формуле, выведенной Г. Даусоном (Dawson, 1964) при изучении термальных полей Вайракей. Им была установлена эмпирическая зависимость между температурой грунта на глубине 15 см (t_{15}^0) и величиной кондуктивного теплового потока (q) в виде:

$$q = 1,24 \cdot 10^{-10} t_{15}^4.$$

Е. А. Вакиным и Б. Г. Поляком (Поляк, 1965) при подстановке в эту формулу значений q и t_{15}^0 , определенных ими в кратере вулкана Мутновского прямыми методами, было обнаружено их вполне удовлетворительное совпадение. При расчете кондуктивного потока контуры площадей взяты нами с термометрической схемы (см. рис. 2). Суммарная теплоотдача грунта путем теплопроводности на площади кратера размером 1,01 км² оценена в 39 557 ккал/сек (см. табл. 2).

Исследование теплового потока в кратере Новом вулкана Шивелуч позволило установить соотношение выноса тепла посредством теплопроводности и паро-газовыми струями (табл. 3). Наибольшее количество

Таблица 3
Суммарный вынос тепла в кратере Новом

Механизм теплопереноса	Сосредоточенные выходы пара	Площадное пропаривание	Теплопроводность	Сумма
Вынос тепла, <i>ккал/сек</i>	69 013	71 396	39 557	179 966
Весовой расход пара, <i>кг/сек</i>	96,7	111,5	61,8	270
То же, %	38	40	22	100

тепла выносятся в результате площадного пропаривания (40%), затем следует вынос тепла сосредоточенными фумаролами (38%) и менее всего — путем теплопроводности (22%). Последняя цифра, возможно, занижена, о чем можно судить, сравнивая полученные цифры с соотношениями для тепловых потоков вулканов Мутновского и Большого Семячика (Аверьев, Вакин, 1966; Поляк, 1966).

В результате проведенных измерений суммарная тепловая мощность кратера Нового вулкана Шивелуч оказалась равной 0,18 *Гкал/сек*, а весовой расход пара — 270 *кг/сек* (см. табл. 3). Вынос тепла такого же порядка (255 *кг/сек*) был подсчитан, по данным повторных наблюдений, С. Вильсоном (Wilson, 1939) для вулкана Белый Остров (White Island), расположенного к северу от Новой Зеландии. Тепловая мощность, которую получил Б. Г. Поляк (1965) для вулкана Мутновского, в 2,5 раза выше полученной нами для вулкана Шивелуч. Следует упомянуть, что нами не были учтены труднодоступные активные фумаролы, расположенные на крутых склонах Западной бокки и Суелича. По аналогии с изученными полями, тепловую мощность этих участков можно оценить в 0,02 *Гкал/сек*. С учетом этих данных общая тепловая мощность кратера Нового в 1966—1968 гг. будет составлять около 0,2 *Гкал/сек*.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверьев В. В., Вакин Е. А. Термальные поля вулканического массива Большой Семячик.— Бюлл. вулканол. станций, 1966, № 42, стр. 3—17.
- Вукалович М. П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.—Л., «Энергия», 1965, 400 стр.
- Поляк Б. Г. Тепловая мощность межпароксизмальной стадии активности Мутновского вулкана.— Докл. АН СССР, 1965, т. 162, № 3, стр. 643—646.
- Поляк Б. Г. Геотермические особенности области современного вулканизма. М., «Наука», 1966, 180 стр.
- Dawson G. B. The nature and assessment of heat flow from hydrothermal areas.— New Zealand J. Geol. and Geophys., 1964, v. 7, No. 1.
- Wilson S. H. Physical and chemical investigations 1939—1955 (v. White Island), New Zealand, Dept. Scient. and Industr.— Res. Bull., 1959, v. 127.