

В. В. АВЕРЬЕВ, Е. А. ВАКИН

**ТЕРМАЛЬНЫЕ ПОЛЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА
БОЛЬШОЙ СЕМЯЧИК**

Горячие источники и парогазовые струи Большого Семячика (рис. 1) известны издавна. Упоминания о них есть в трудах С. П. Крашенинникова, К.-Дитмара, П. Г. Новограбленова. Б. И. Пийп (1937) описал Нижне-Семячинские источники. Верхне-Семячинские источники были исследованы Т. И. Устиновой (1947) и В. В. Ивановым (1954, 1955).

Самой значительной из работ геологов и вулканологов, посвященных району Большого Семячика, до сих пор является монография В.И.Влодавца (1958). В ней содержатся сведения о геологическом строении района, очень подробно описаны внешние проявления вулканической и гидротермальной деятельности, приводятся химические анализы горных пород, возгонов, несколько анализов вод.

Однако во всех перечисленных работах акцент сделан на описании термальных источников, а мощная газопаровая деятельность осталась по существу не охарактеризованной. Настоящее сообщение восполняет этот пробел. В результате экспедиционных работ 1965 г. были получены данные о тепловой мощности и характере разнообразных термопроявлений на Большом Семячике, которые позволяют высказать мнение о существовании здесь единой гидротермальной системы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА

Вулканический массив Большой Семячик (Семлячик) находится возле Кроноцкого залива в 20 км севернее пос. Жупаново. Это очень сложная вулканическая система, насчитывающая более двух десятков стратовулканов и экструзивных куполов разного возраста и состава (рис. 2). Массив занимает площадь более 100 км². Вулканы расположены на плато с отметками 800—900 м. На восток и юго-восток плато полого наклонено к океану, что делает его относительно легко доступным в транспортном отношении. На западе и северо-западе, за р. Старый Семячик, плато поднимается крутой 300-метровой ступенью. На северо-востоке от вулканического массива оно прорезано глубоким (до 300 м) каньоном р. Ольховая (Пятая).

Вулканические аппараты Большого Семячика разнообразны по форме: одни представляют собой куполообразные возвышенности средней крутизны (вулкан Бурлящий), другие имеют вид отвесных скалистых гребней (Центральный Семячик, Зубчатка). Высота большинства вулканов над фундаментом 50—400 м, а вулкана Зубчатка — 800 м.

Наиболее древними из обнажающихся в районе Большого Семячика пород являются отложения гейзерной свиты (N₂ — Q₁ ?), уходящие под основание вулканического массива (рис. 3). Свита наиболее

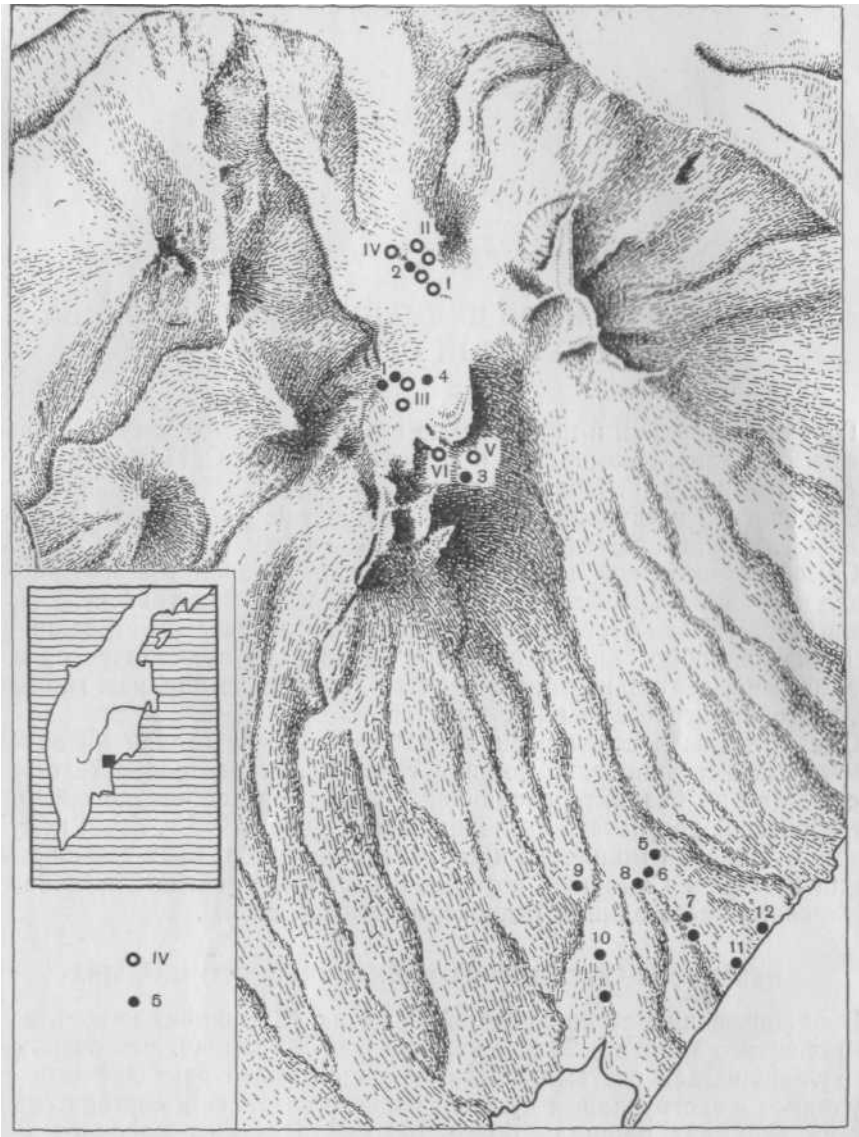


Рис. 1. Схема расположения термопроявлений на массиве Большой Семячик
Цифры на рисунке: римские — сольфатары, арабские — термальные источники

полно описана в Долине Гейзеров; представлена она псефитовыми туфами, чередующимися с алевро-пелитовыми туфами и прослоями внутриформационных игнимбритов. В истоках р. Ольховой, среди отложений свиты, встречены лавы дацитов. Мощность свиты около 700 м.

Выше залегают пемзы и игнимбриты жупановской свиты ($Q_{1-II}^{?}$), слагающие вулканические плато вокруг Большого Семячика. Видимая мощность этих отложений в верховьях р. Ольховой 350 м.

Вблизи массива Большой Семячик игнимбриты перекрываются базальтовыми лавами семячинской свиты ($Q_{II}^{?}$). Они имеют покровный облик, тяготея в то же время к определенным центрам излияния.

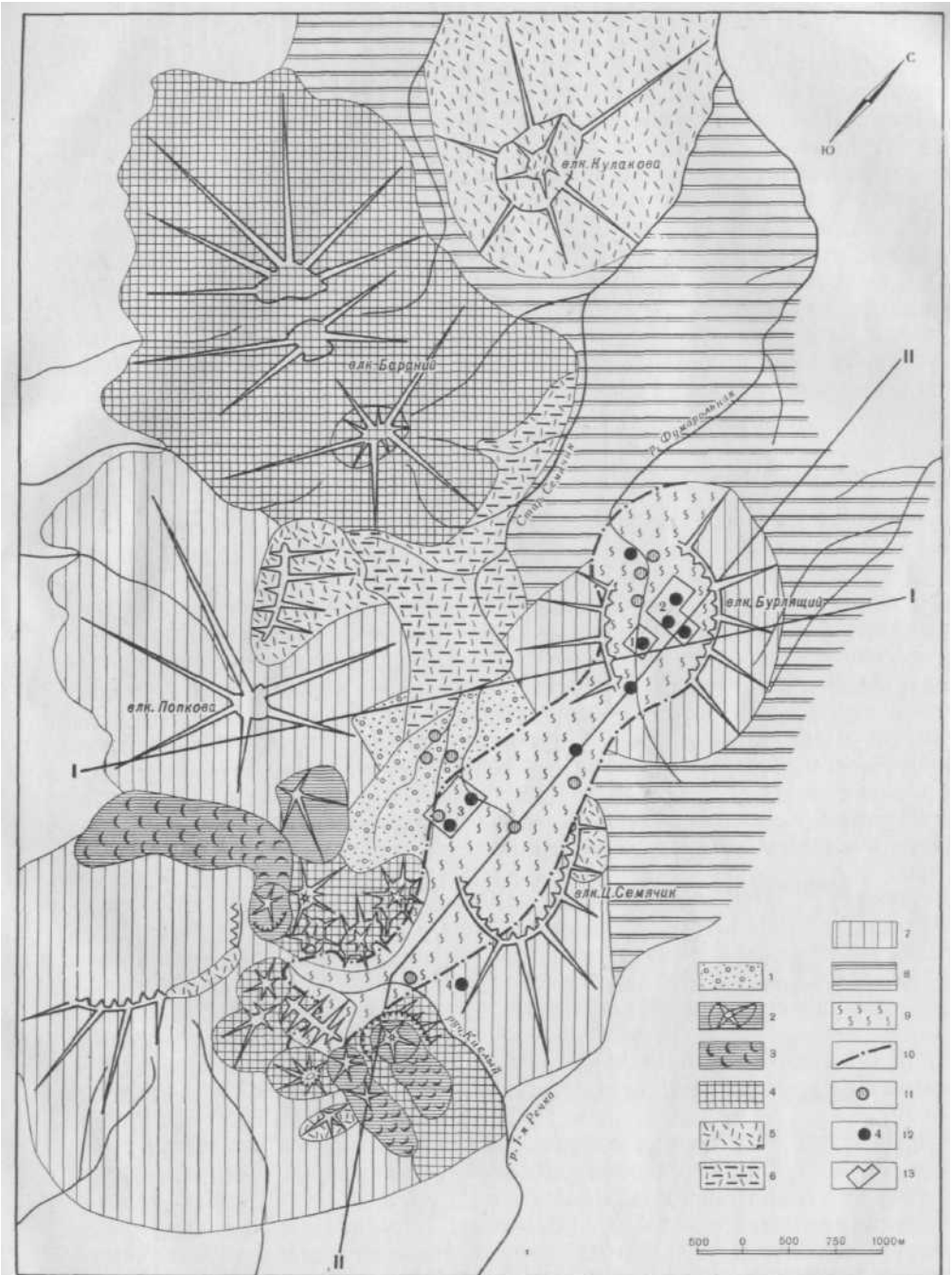


Рис. 2. Схема геологического строения массива Большой Семячик (без вулкана Зубчатка). Составили В. В. Аверьев и Г. Е. Богоявленская

1 — аллювиальные и пролювиальные отложения; 2—3 — послеледниковые экзтрузии и лавовые потоки андезито-базальтового состава; 4—7 — доледниковые вулканические постройки и отложения; 4 — стратовулканы и экзтрузии андезито-базальтового состава; 5 — стратовулканы и экзтрузии андезито-базальтового состава; 6 — спекшиеся туфы дацитового состава; 7 — базальтовые стратовулканы; 8 — базальтовые лавы фундамента (семячинская свита); 9 — гидротермально-измененные породы; 10 — граница гидротермально-измененных пород; 11 — термальные источники; 12 — сольфатарные поля (цифры на рисунке): 1 — Парящая Долина; 2 — Верхнее термальное поле; 3 — Северный кратер Центрального Семячика; 4 — Красный склон; 13 — участки термометрической съемки

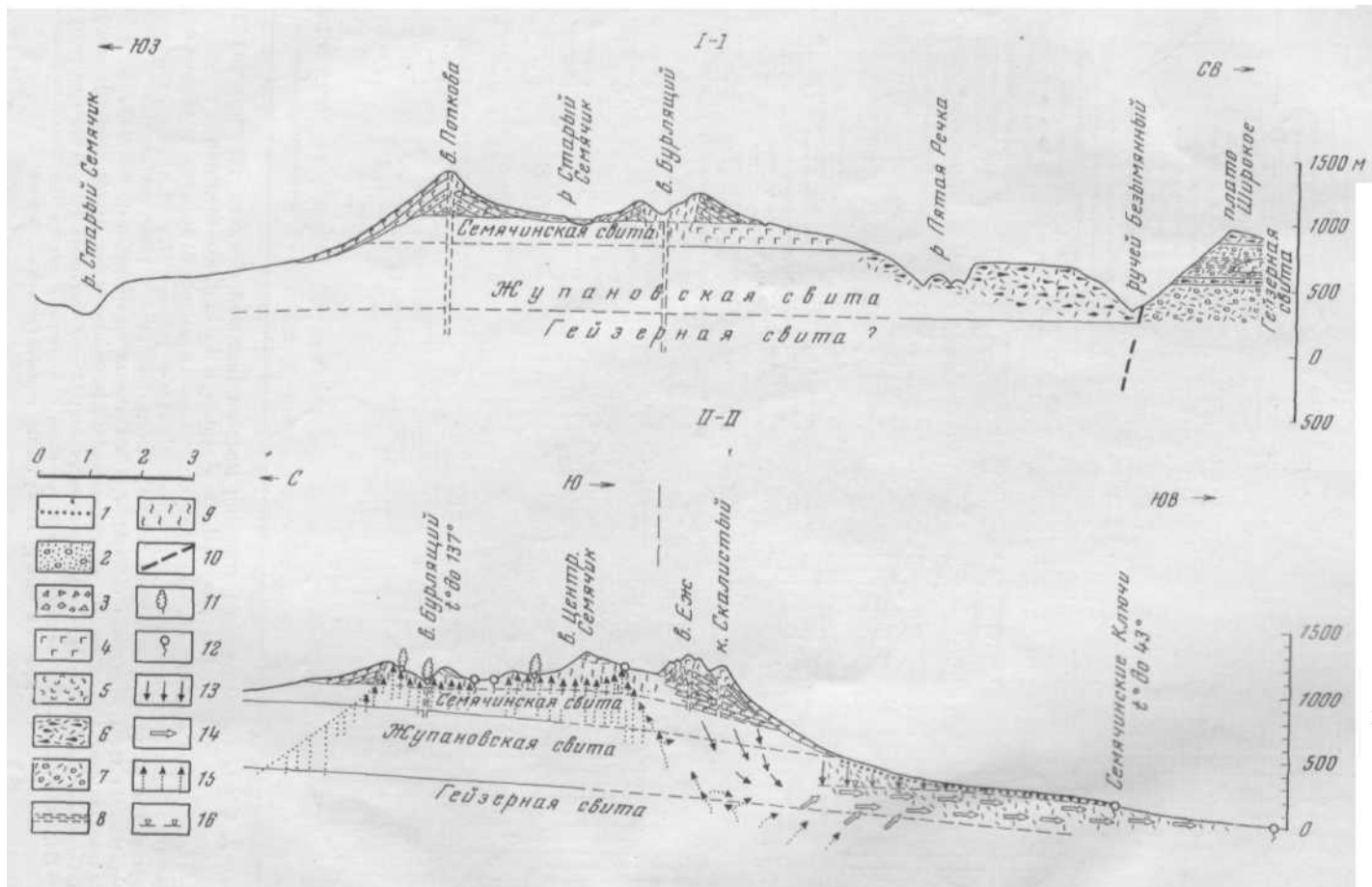


Рис. 3. Схематические геологические разрезы через массив Большой Семячик. Составили В. В. Аверьев и Г. Е. Богоявленская

1 — рыхлые вулканические отложения последних извержений; 2 — аллювиальные отложения; 3 — отложения конуса выноса; 4 — базальты и андезито-базальты; 5 — туфы основного состава; 6 — спелшие туфы и игнимбриты; 7 — пемзовые псефитовые туфы; 8 — алевропелитовые пепловые туфы; 9 — гидротермально-измененные породы; 10 — предполагаемые тектонические нарушения; 11 — сольфатарные поля; 12 — термальные источники; 13 — инфильтрационные воды; 14 — термальные воды; 15 — эндогенный пар; 16 — предполагаемый уровень потока термальных вод

Горизонтальный масштаб — в километрах

Эти базальты являются непосредственным фундаментом вулканических сооружений.

Возвышающиеся над фундаментом вулканические постройки могут быть подразделены на древние — доледниковые и молодые — послеледниковые сооружения. Все крупные стратовулканы: Зубчатка, Бурлящий, Центральный Семячик, Попкова, Бараний и Кулакова являются относительно древними — доледниковыми. Помимо них, к доледниковым сооружениям относится большое число экструзивных куполов. Молодые, послеледниковые, сооружения сосредоточены в южной части массива. Они представлены небольшими вулканами (Еж, Корона), давшими длинные лавовые потоки, и экструзиями с крутыми обнаженными склонами.

Единственным упоминанием о современных извержениях вулканов Большого Семячика является сообщение С. И. Набоко о появлении в январе 1953 г. мощного столба пара на юго-восточном склоне массива, вызванного либо усилением сольфатарной деятельности, либо образованием нового купола (Набоко, 1954).

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НА МАССИВЕ БОЛЬШОЙ СЕМЯЧИК

Современное состояние вулканического массива характеризуется мощной сольфатарной деятельностью. Она проявляется в виде сосредоточенных струй перегретого пара, кипящих водяных и грязевых котлов и, наконец, в виде площадного прогрева и пропаривания пород.

Все сольфатарные площади лежат в пределах единой зоны гидротермально измененных пород площадью около 10 км^2 , протянувшейся от вулкана Бурлящего на юг до ручья Кислого. Далее к югу измененные породы перекрываются послеледниковыми вулканическими образованиями. Такое перекрытие, наряду с находками измененных пород в моренах, свидетельствует о начале сольфатарной деятельности еще в доледниковое время, т. е. несколько десятков тысяч лет назад. Вне зоны измененных пород находится термальная площадка Красный склон на вулкане Центральный Семячик, являющаяся, по-видимому, следом недавнего извержения.

В настоящее время наиболее активными центрами сольфатарной деятельности являются два самых древних вулкана — Бурлящий и Центральный Семячик. В сильно разрушенных постройках этих вулканов расположены сольфатарные поля площадью¹ от $0,03$ до $0,07 \text{ км}^2$; несколько небольших термальных площадок находится на склонах этих вулканов и между ними (рис. 1).

Самыми большими термальными полями являются Парящая долина и Верхнее термальное поле на вулкане Бурлящий, а также Северный кратер Центрального Семячика.

Тепловая мощность термальных полей² (табл. 1 и 2). Термальное поле Парящая долина в котловине вулкана Бурлящий имеет диаметр более 250 м (рис. 4). Дно котловины покрыто слоем глинистых измененных пород и частично залито водой. Преобладающими формами термальной деятельности здесь являются очень интенсивное площадное

пропаривание, кипящие водяные и грязевые котлы. Количество тепла, выносимое непосредственно паром, составляет около $16\,000 \text{ ккал/сек}$. Теплоотдача от сухого нагретого грунта достигает $4,8$ тыс. ккал/сек .

Максимальная температура пара и горячего грунта на поверхности соответствует температуре кипения (96 — 97°).

¹ Площадь замерена по изотерме $+20^\circ$ на глубине 1 м .

² Методика измерений изложена в статье Г. Н. Ковалева в настоящем сборнике.

Таблица 1

Вынос тепла основными термальными полями Большого Семячика
(август-сентябрь 1965 г.)*
в ккал/сек

Изотермический интервал	Модуль парения, ккал/м ² .сек	Модуль теплоотдачи, ккал/м ² .сек	Парящая долина			Верхнее термальное поле			Северный кратер Центрального Семячика		
			площадь, м ²	теплоотдача прогрева грунта	рассредоточенное парение	площадь, м ²	теплоотдача прогрева грунта	рассредоточенное парение	площадь, м ²	теплоотдача прогрева грунта	рассредоточенное парение
20°—30°		0,05	5560	30		22400	110		19390	110	
30°—50°		0,07	4340	30		20400	140		13490	90	
50°—70°	0,032	0,12	3520	40	130	13100	160	420	9250	110	
70°—90°	0,064	0,15	6550	990	420	9700	1460	620	6890	1030	
90°—96°	0,128	0,3	6120	1850	780	8700	2600	1100	5790	1740	750
96°	0,98	0,3	6160	1900	6000	3300	990	3300	1800	540	1770
Сумма			32250	4840	7320	77600	5460	5440	56600	3620	2520

* Без участков сосредоточенного парения. Вынос тепла участками сосредоточенного парения для Парящей долины составил 8900, для Верхнего термального поля 2870, для Северного кратера Большого Семячика 3000 ккал/сек. Суммарный вынос тепла для Парящей долины составил 21000, для Верхнего термального поля 14000, для Северного кратера Большого Семячика 9000 ккал/сек.

По крутым предвершинным хребтикам и оврагам вулкана Бурлящий более чем на 500 м протянулось Верхнее термальное поле (рис. 5), состоящее из нескольких интенсивно прогретых участков.

В западной, высокой части поля сосредоточены мощные паровые струи с температурой до 137° и скоростью истечения до 120 м/сек. Три самых мощных струи — «Ревущая», «Пасть» и «Пещера» — выносят пара около 3 кг/сек и соответственно тепла — около 1850 ккал/сек (табл. 2). Однако главная масса тепла выносится в результате рассредоточенного пропаривания (5 400 кал/сек) и путем теплоотдачи от горячего грунта (5 500 кал/сек).

На вулкане Центральный Семячик современная термальная деятельность сосредоточена в основном в западной части северного кратера (рис. 6). Здесь находится лагони Черное озеро, которое вместе с паром отдает каждую секунду 3000 ккал тепла, бывшие кипящие котлы и фумаролы, а также участки, прогретые рассредоточенными газовыми струями. Первое место по тепловой мощности здесь занимает теплоотдача от горячего грунта — 3600 ккал/сек; доля же площадного пропаривания относительно меньше, чем на других полях, — 2500 ккал/сек.

Термальная активность южного кратера угасает. Из серных бугров едва заметно выделение пара. Лишь в отдельных точках температура на глубине 1 м достигает 90°.

Несколько особняком стоит термальное поле Красный склон, отдающее каждую секунду в атмосферу 4 000 ккал тепла. Положение и характер этой площадки позволяют думать, что прогретость ее обусловлена сравнительно недавним извержением лавового потока.

Помимо газо-паровых струй на термальных полях Большого Семячика имеется несколько кипящих источников (температура 96—98°). В некотором удалении от термальных полей, расположенных в верховьях р. Старый Семячик, также имеются горячие источники, но уже с меньшими

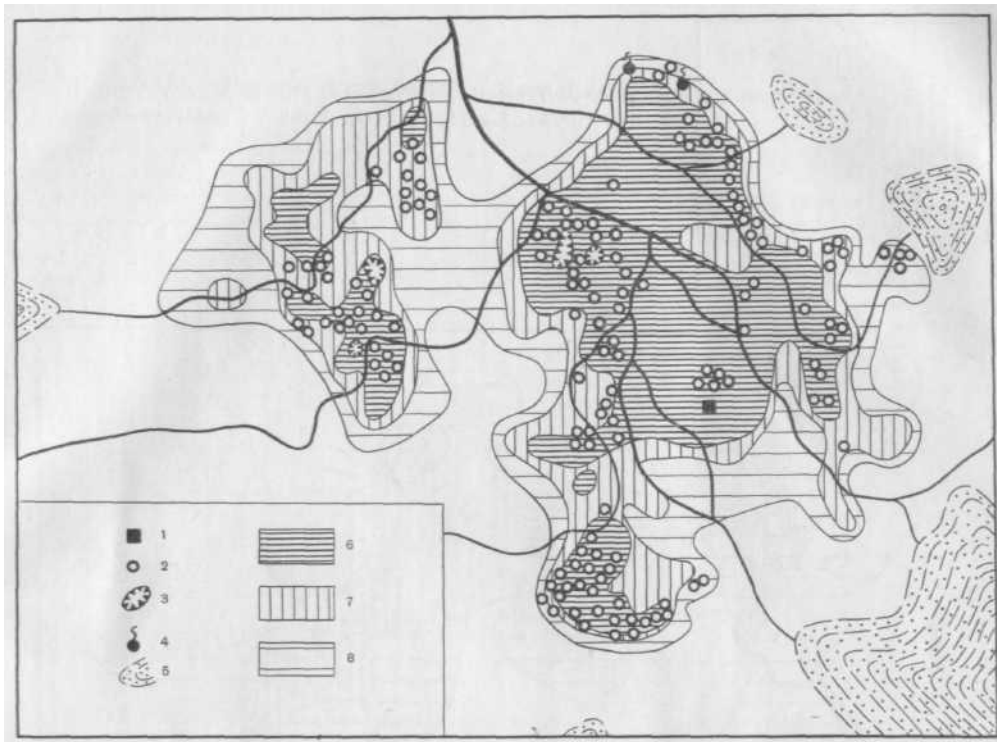


Рис. 4. Термометрическая карта термального поля Парящая долина.

Составил Е. А. Вакин

1 — паровые струи; 2 — кипящие водяные котлы; 3 — грязевые котлы; 4 — термальные источники; 5 — снежки; 6—8 — зоны с температурой на глубине 1 м: 6 — больше 90°, 7 — 50—90°, 8—20—50°

температурами. Суммарный вынос тепла термальными источниками на вулканическом массиве оценен в 3 тыс. *ккал/сек*.

Общий тепловой баланс гидросольфатарной деятельности Большого Семячика складывается следующим образом (см. табл. 1). Первое место в выносе тепла принадлежит рассредоточенному площадному пропариванию — 15,2 тыс. *ккал/сек* (32%). Почти столько же тепла — 14,8 тыс. *ккал/сек* — выносятся паровыми струями и участками сосредоточенного поступления пара (31%). Теплоотдача от горячего грунта имеет величину 13,9 тыс. *ккал/сек* (30%). Наконец, термальными водами выносятся 3 тыс. *ккал/сек* (7%). Суммарный вынос тепла (без Красного склона) равен 47 тыс. *ккал/сек*.

Тепловой поток через сухой горячий грунт представляет собой не что иное, как передачу тепла, выделившегося при конденсации пара на некоторой глубине. Это видно из следующего соотношения. При конденсации пара выделяется более 80% тепла от общей величины его теплосодержания. Тепло, заключенное в конденсате, составляет 15-17%. Отсюда следует, что 13,9 тыс. *ккал/сек*, выносимым через горячий грунт, должны соответствовать 2,5—2,9 тыс. *ккал/сек*, выносимые конденсатом. Примерно такая величина (3 тыс. *ккал/сек*) и зафиксирована в выносе тепла термальными водами, которые представляют собой конденсат, образовавшийся на той или иной глубине и разбавленный в разной мере холодными водами.

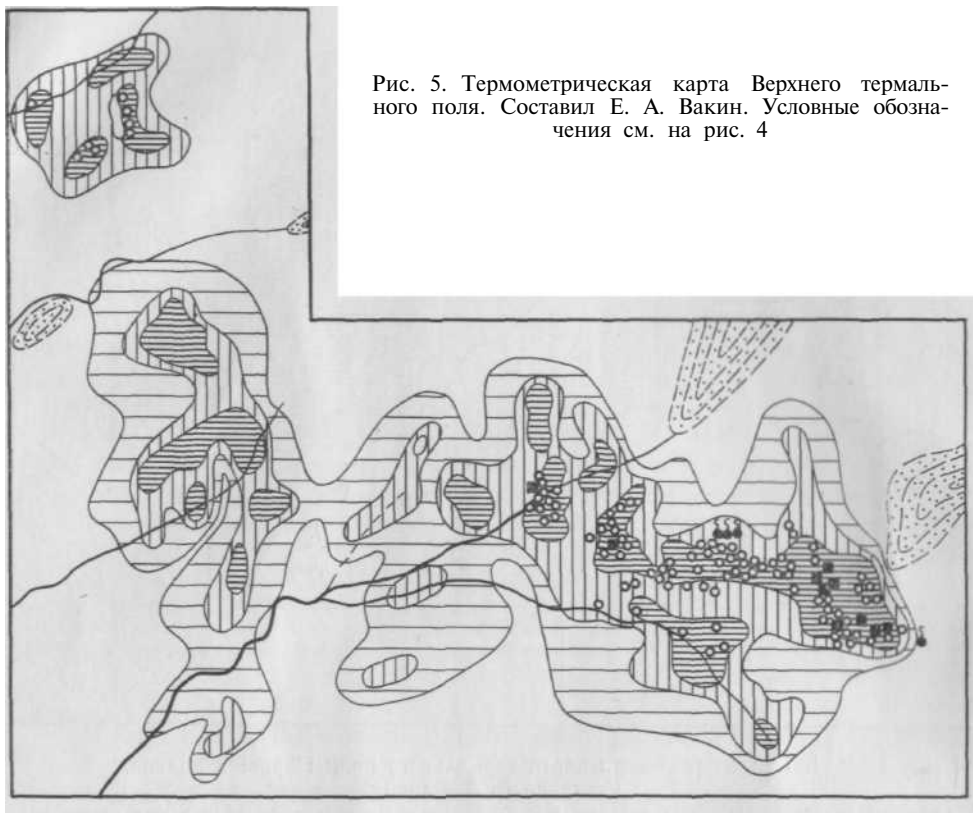


Рис. 5. Термометрическая карта Верхнего термального поля. Составил Е. А. Вакин. Условные обозначения см. на рис. 4

Таким образом, главным агентом гидросольфатарной деятельности, несущим с собой практически все тепло, является пар, поднимающийся из недр вулканического массива. Теплосодержание пара, исходя из максимальной температуры, замеренной на поверхности (137°), можно принять около 660 ккал/кг . Расход потока пара, следовательно, оценивается величиной 70 кг/сек , или 25 т/час .

Химический состав газопаровых струй и термальных источников (табл. 3, 4). Общая газонасыщенность паровых струй такова, что на 1 кг водяного пара приходится $6\text{--}8 \text{ л}$ различных газов (при нормальных условиях). Сольфатарные газы вулкана Бурлящий состоят в основном из CO_2 (до 76%); в значительном количестве присутствует сероводород (до 16%). В Центральном Семячке доля сероводорода поднимается до 21% и, кроме того, в количестве $4\text{--}7\%$ фиксируется сернистый газ. Сумма азота и редких газов составляет не более 10% объема. Показательно полное отсутствие галоидных газов.

Весовое содержание кислых газов (на 1 кг пара) выражается следующими цифрами: CO_2 — от 8 до 11 г/кг , сероводород — от $1,35$ до $2,65 \text{ г/кг}$, сернистый газ — от $0,85$ до $1,45 \text{ г/кг}$.

Высокотемпературные конденсатные воды являются типичными кислыми фумарольными термами приповерхностного формирования. В их составе среди анионов почти 100% -ное преобладание имеет сульфат-ион. Воды источников, расположенных в удалении от термальных полей, содержат в небольших количествах хлор-ион, что может свидетельствовать об их более глубоком формировании.

Таблица 2

Вынос тепла паровыми струями Верхнего термального поля, вулкан Бурлящий
Замеры 3.IX 1965 г.

№ п/п	$T^{\circ}C$	S, m^2	$W, m/сек$	$\rho'', кг/м^3$	$i'', ккал/кг$	$Q, ккал/сек$
1	137	0,013	120	0,5	659	515
2	125	0,015	86	0,51	650	430
3	131	0,05	55	0,50	654	900
4	110	0,01	20	0,53	644	68
5	105	0,01	19	0,54	640	66
6	110	0,01	40	0,53	644	138
7	109	0,01	20	0,53	644	53
8	106	0,01	46	0,54	640	160
9	103	0,01	39	0,55	640	120
10	110	0,01	40	0,53	644	136
11	111	0,01	40	0,53	644	136
12	105	0,01	10	0,54	640	35
13	108	0,01	18	0,53	644	64
14	96	0,01	4	0,55	640	14
15	96	0,01	4	0,55	640	14

Примечание. 1—3— замеры произведены на фумаролах: 1 — «Ревущая», 2—«Пасть», 3—«Пещера». Замеры скоростей 0—20 м/сек сделаны ручным анемометром; 40—120 м/сек — динамометром. Значения плотности пара ρ'' и его теплосодержания i'' при давлении 0,95 ата взяты из таблиц в книге М. П. Вукаловича «Термодинамические свойства воды и водяного пара». М. — Л., 1965.

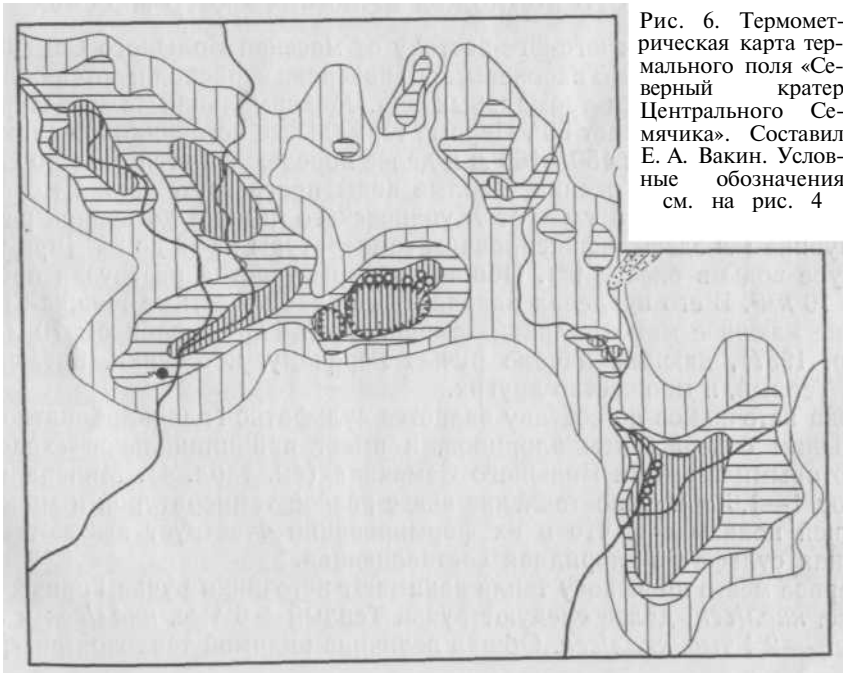


Рис. 6. Термометрическая карта термального поля «Северный кратер Центрального Семячика». Составил Е. А. Вакин. Условные обозначения см. на рис. 4

Таблица 3

Химический состав паровых струй вулканов группы Большого Семячика
Аналитик В. В. Пономарев

Номер пробы	Местонахождение	t°С	Состав сухого газа, %							Содержание газов, г на 1 кг пара			Состав конденсата пара, мг/л										Общая минерализация, мг/л	рН	Формула химического состава		
			CO ₂	H ₂ S	SO ₂	HCl	Σ кисл.	O ₂	N ₂ (по воздуху)	Σ инертных газов	CO ₂	H ₂ S	Коль-во конденсата на 1 л сухого газа, мг/л	Na ⁺ +K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ CO ₃	CO ₃ ²⁻	H ₂ SiO ₂				CO ₂ св.	
1/40	Вулкан Бурлящий, Парящая долина, центральная группа фумарол . .	96	74,8	14,0	Нет	Нет	88,0	0,3	1,1	9,8	11	1,65	130	70,0	1,45	2,0	Нет	0,9	Нет	Нет	250,18	Нет	Нет	13,2	324,53	~8,0	$M_{0,324} \frac{HCO_3^{100}}{NH_4^{95}Ca_{2,5}}$
2/41	Вулкан Бурлящий, Парящая долина, сев.-зап. группа фумарол	96	76,0	13,0	»	»	89,0	0,5	1,9	8,6	10	1,35	150	70,0	Нет	1,6	»	0,9	»	»	244,18	»	?	12,9	316,68	8,0	$M_{0,317} \frac{HCO_3^{100}}{NH_4^{98}}$
3/42	Вулкан Бурлящий, Верхнее термальное поле, восточная группа фумарол	130	69,8	16,2	»	»	85,0	1,8	6,8	6,4	8	1,35	172	50,0	28,2	0,7	»	0,3	»	22,9	219,67	»	Нет	24,5	322,47	7,0	$M_{0,322} \frac{HCO_3^{88}SO_4^{12}}{NH_4^{88}(Na+K)_{30}}$
4/43	Вулкан Бурлящий, Верхнее термальное поле, фумарола «Пасть» . . .	130	74,0	14,0	»	»	88,0	0,3	1,1	10,6	9	1,35	160	50,0	9,7	0,7	»	0,3	»	17,2	176,96	»	»	3,88	254,86	7,0	$M_{0,255} \frac{HCO_3^{89}SO_4^{11}}{NH_4^{88}(Na+K)_{13}}$
5/47	Вулкан Центральный Семячик, Северный кратер, фумарола «Жерло» . .	99	66,0	21,0	4,04	»	91,0	Нет	Нет	9,0	9	2,3	136	12,0	18,2	6,38	1,17	0,4	»	64,2	32,95	»	»	51,8	135,3	6,4	$M_{0,135} \frac{SO_4^{71}HCO_3^{29}}{(Na+K)_{42}NH_4^{35}Ca_{17}}$
6/48	Вулкан Центральный Семячик, Северный кратер у Черного озера . . .	96	65,0	21,5	6,90	»	93,4	0,2	0,75	5,65	10	2,6	127	3,3	20,15	1,5	2,19	Нет	»	50,0	16,48	»	»	12,95	93,88	5,1	$M_{0,084} \frac{SO_4^{79}HCO_3^{21}}{(Na+K)_{66}NH_4^{14}Mg_{14}}$

* Fe⁺⁺ во всех конденсатах отсутствует.

**ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
У ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОДНОЖЬЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА**

Примерно в 8 км к юго-юго-востоку от массива Большого Семячика, у его подножья, вблизи Тихоокеанского побережья, располагается обширный участок разгрузки термальных вод. Максимальная температура в источниках не превышает 50°. Первые термальные источники появляются в оврагах на отметках 150—160 м и далее прослеживаются вниз по склону до берега Тихого океана. Теплые воды прогревают также морской пляж на протяжении 5 км—от Жупановского лимана до первой речки. На глубине 1 м здесь зафиксированы температуры от 12 до 32° (при температуре воды в океане 9°). Общие размеры участка разгрузки превышают 10 км. В его пределах находятся широко известные Нижне-Семячинские ключи с максимальной температурой 49,6° и дебитом 70 л/сек (Пийп, 1937), дающие начало ручью Горячему, источники, питающие ручей Теплый, и множество других.

Вода источников по составу является сульфатно-гидрокарбонатной, с небольшим содержанием хлоридов, и имеет принципиальное сходство с некоторыми термами Большого Семячика (см. табл. 4). Минерализация вод 1—1,6 г/л. Сопоставление вод с разной температурой и минерализацией показывает, что в их формировании участвует высокотемпературная сульфатно-хлоридная составляющая.

Первое место по выносу тепла занимают источники ручья Горячего — 7,7 тыс. ккал/сек; далее следуют ручьи Теплый — 6 тыс. ккал/сек и Лиманный — 2,4 тыс. ккал/сек. Общая величина видимой тепловой разгруз-

ки достигает 17 тыс. ккал/сек. Эта цифра минимальная, так как не включает в себя скрытую разгрузку в океан. Представляется, что наиболее вероятным значением тепловой мощности Нижне-Семячинского участка будет величина 20—25 тыс. ккал/сек.

ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА БОЛЬШОГО СЕМЯЧИКА

Имеющиеся материалы позволяют, несмотря на все внешние различия, считать и сольфатарные поля Большого Семячика и теплые источники у океанского побережья проявлениями единой, по-видимому, очень крупной гидротермальной системы. Геологическое строение и геотермическая обстановка в этом районе весьма благоприятны для формирования термальных вод. Судя по всему, депрессия под вулканическим массивом Большого Семячика, на возможность существования которой указывали еще А. Н. Заварицкий и В. И. Влодавец (1958), заполнена отложениями Гейзерной свиты, весьма близкой по своей литологии к Паужетской свите юга Камчатки, для которой, как установлено бурением, характерна порово-трещинная циркуляция термальных вод. В породах, залегающих выше Жупановской и Семячинской свит, существуют условия для формирования трещинно-пластовых водоносных горизонтов как со свободной поверхностью, так и типа артезианских склонов. Породы, слагающие молодые вулканические постройки Большого Семячика и его подножий, хорошо водопроницаемы, что при большом количестве атмосферных осадков (>2000 мм/год) обеспечивает обильное питание водоносных горизонтов.

Таблица 4

Химический состав термальных вод района Большого Семячика, мг/л

Компоненты	Истокник у р. Фумарольной (1)	Истокник у р. Фумарольной (2)	Межгорная котловина, источник (3)	Межгорная котловина, источник (4)	Центральный Семячик, Северный кратер, источник (5)	Центральный Семячик, Северный кратер, Черное озеро (6)	Истокник у ручья Кислого (7)	Средний исток ручья Тёплого (8)	Исток ручья Лиманного (9)	Нижне-Семячские ютолицы (10)
Катионы										
NH ₄ ⁺	35,0	50,0	10,5	—	9,0	—	—	0,4	0,4	1,0
H ⁺	—	—	—	0,3	—	0,5	0,3	—	—	—
Na ⁺	11,7	130,0	45,5	62,0	106(?)	90,2	6,2	82,0	80,9	116,6
K ⁺	—	—	—	3,2	—	3,4	2,8	—	—	38,8
Mg ²⁺	113,7	15,32	50,34	49,7	3,22	25,0	31,3	23,7	16,66	78,9
Ca ²⁺	364,7	68,94	180,76	200,1	51,8	81,7	139,2	57,1	49,90	200,0
Fe ²⁺	1,6	Нет	7,0	5,5	<0,3	1,2	1,2	Нет	Нет	—
Fe ³⁺	Нет	»	Нет	—	—	—	—	»	«	—
Al ³⁺	—	—	—	—	Есть	97,4	69,3	—	—	4,97
Ti ⁴⁺	—	—	—	—	—	0,4	0,1	—	—	—
Mn ²⁺	—	—	—	—	—	0,8	0,6	—	—	—
Анионы										
SO ₄ ²⁻	988,4	479,05	674,0	771,1	514,0	1032,0	857,3	163,31	152,26	508,6
Cl ⁻	24,1	Нет	5,68	10,6	Нет	0,7	1,4	21,27	28,37	158,2
F ⁻	—	—	—	—	—	0,8	0,95	—	—	—
HCO ₃ ⁻	536,97	195,26	109,8	44,0	Нет	—	—	280,69	219,67	427,0
CO ₃ ²⁻	Нет	Нет	Нет	Нет	»	—	—	Нет	Нет	—
H ₂ PO ₄ ²⁻	—	—	—	0,3	—	0,6	0,05	—	—	—
HAsO ₄ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,0
HSiO ₃ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34,7
Недиссоциир. молекулы										
H ₂ SiO ₃	—	—	—	372,0	—	374,9	263,2	—	—	157,8
H ₃ AsO ₃	—	—	—	1,5	—	Следы	Следы	—	—	—
H ₂ S (общий)	—	—	—	1,6	—	34,6	122,4	—	—	—
Сухой остаток	2079,48	938,57	1088	1499,0	690	1742,0	1423,0	629,3	548,34	1610,0
t, °C	55	88	57	60	96	94	44	26,5	30,0	49,5
pH	7,5	7,2	6,8	7,7	3,2	3,3	3,5	6,5	6,3	6,5
Формула химического состава	M _{2,1} $\frac{SO_4^{2-} HCO_3^-}{Ca_{91} Mg_{91} NH_4^+}$	M _{0,9} $\frac{SO_4^{2-} HCO_3^-}{(Na+K)_{43} Ca_{26} NH_4^+}$	M _{1,1} $\frac{SO_4^{2-} HCO_3^-}{Ca_{99} Mg_{26} (Na+K)_{42}}$	M _{1,5} $\frac{SO_4^{2-}}{Ca_{94} Mg_{51} Na_{16}}$	M _{0,7} $\frac{SO_4^{2-}}{(Na+K+Al)_{99} Ca_{23}}$	M _{1,7} $\frac{SO_4^{2-}}{Al_{50} Ca_{70} Na_{18}}$	M _{1,6} $\frac{SO_4^{2-}}{Al_{43} Ca_{99}}$	M _{0,93} $\frac{HCO_3^- SO_4^{2-}}{(Na+K)_{44} Ca_{33} Mg_{23}}$	M _{0,65} $\frac{HCO_3^- SO_4^{2-} Cl_{10}}{(Na+K)_{49} Ca_{33} Mg_{18}}$	M _{1,6} $\frac{SO_4^{2-} HCO_3^- Cl_{20}}{Ca_{44} Mg_{29} Na_{22}}$

Примечание. 1,2,3,5,8,9—аналитик В. В. Пономарев (полевые анализы); 4,6,7—по В. И. Владовцу; 10—по Б. И. Пийпу.

О весьма интенсивном тепловом питании системы свидетельствуют приведенные выше цифры выноса тепла. Сольфатарная деятельность Большого Семячика приурочена к полосе гидротермально-измененных пород, протягивающейся от вулкана Бурлящего к куполу Еж, где измененные породы погребены под молодыми лавами. Полоса измененных пород (площадь 10 км^2) в целом отражает положение зоны восходящего движения пара из недр вулканического массива. Суммарный вынос тепла на сольфатарных полях определен в 50 тыс. *ккал/сек*. Исходя из этой величины, можно считать, что средняя интенсивность теплового питания на Большом Семячке составляет 5 тыс. *ккал/сек · км²*. Весьма вероятно, что такая же интенсивность поступления тепла сохраняется и в южной части массива под молодыми вулканическими постройками, занимающими площадь не менее 5 км^2 . Таким образом, тепловая мощность этого участка может быть оценена в 25 тыс. *ккал/сек*, что соответствует выносу тепла источниками у юго-восточного подножья массива. По-видимому, именно здесь находится область теплового питания потока горячих вод, разгружающегося у берега океана. Не исключено также, что поток питается теплом по ходу движения, например, восходящими термами по зонам тектонической трещиноватости.

Структура термального потока представляется достаточно сложной. Нижний его горизонт, связанный с гейзерной свитой, погруженной ниже уровня моря, по своему характеру должен быть напорным и, возможно, содержит перегретые воды. Верхний горизонт потока, приуроченный к пемзам и игнимбрикам жупановской свиты, формируется в условиях артезианского склона, но по приближении к очагу разгрузки превращается, по сути дела, в горизонт со свободной поверхностью, испытывающий чрезвычайно сильное разбавление со стороны инфильтрационных вод.

На участке разгрузки этого водоносного горизонта нет выходов неминерализованных пресных холодных вод, т. е. весь грунтовый поток прогрет восходящими горячими водами. О величине грунтового потока можно судить хотя бы по тому, что выше области разгрузки теплых вод отсутствуют постоянные поверхностные водотоки, т. е. атмосферные осадки, выпадающие на склоне Большого Семячика в междуречье ручья Теплового и р. Первой, фильтруются сквозь хорошо проницаемые отложения (модуль подземного стока составляет не менее $30\text{—}35 \text{ л/сек}$). Смешение (в разных соотношениях) инфильтрационных вод с термальными приводит к возникновению источников с разной температурой и минерализацией.

Таким образом, имеются основания полагать, что горизонт теплых вод является лишь верхней и наиболее охлажденной частью мощного водоносного комплекса, нижние горизонты которого содержат высокотемпературные воды и, вероятно, питаются паром из недр вулканического массива. И если сама по себе группа Нижне-Семячинских источников не имеет значения в отношении энергетического использования, то участок их формирования представляется весьма перспективным для обнаружения здесь на глубине больших ресурсов высокотемпературного теплоносителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Общая тепловая мощность термоаномалии Большого Семячика составляет $70\text{—}75$ тыс. *ккал/сек*. (Сравнение с другими системами и термоаномалиями приведено в табл. 5). Установлено, что около 50 тыс. *ккал/сек* «подается» на поверхность паром; предполагается также, что $20\text{—}25$ тыс. *ккал/сек* могут быть отнесены к высокотемпературному теплоносителю (перегретой воде или пару). При условном пересчете

Таблица 5

Сравнительная тепловая характеристика некоторых геотермальных аномалий

Термоаномалия	Вынос тепла, ккал/сек	Интенсивность теплого питания, ккал/км ² ·сек	Источник сведений
Большой Семячик . . .	$7,5 \times 10^4$	5×10^3	В. В. Аверьев Е. А. Вакин Г. Н. Ковалев
Долина Гейзеров . . .	7×10^4	$2,0 \times 10^3$	В. В. Аверьев
Паужетка*	$1,5 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$	В. В. Аверьев
Вулкан Мутновский	$9,0 \times 10^4$	—	Б. Г. Поляк
Большие Банные источники*	$1,0 \times 10^4$	2×10^3	Е. А. Вакин

* Естественная разгрузка (без учета скважин).

общей тепловой мощности на пар его минимальные ресурсы оцениваются величиной около 100 кг/сек или 36 т/час. Этого достаточно для съема электрической мощности 35—40 тыс. квт.

2. Химический состав пара не является препятствием для использования его в энергетических схемах. (Сравнение химического состава пара Большого Семячика и состава геотермального пара Лардерелло (Италия) приведено в табл. 6.)

Таблица 6

Сравнительная характеристика состава парогазовых струй Лардерелло (Италия) и Большого Семячика, г на 1 кг

Газ	Лардерелло	Большой Семячик		
		Парящая долина	Верхнее термальное поле	Центральный Семячик
CO ₂	42,6	10—11	8—9	9—10
H ₂ S	0,9	1,3—1,7	1,3	2,3—2,6
SO ₂	Нет	Нет	Нет	0,8—1,5

3. Геологическое строение фундамента Большого Семячика и его недр таково, что позволяет рассчитывать на нахождение здесь больших запасов перегретых вод и пара. Есть все основания ожидать, что при помощи бурения можно получить эксплуатационные геотермальные ресурсы, по своей величине значительно превышающие естественную тепловую разгрузку. Таким образом, геотермальное месторождение Большой Семячик следует рекомендовать для изучения и разведки в качестве базы для создания крупного геотермального энергетического центра Камчатки.

ЛИТЕРАТУРА

- Влодавец В. И. Вулканы и вулканические образования Семячинского района. - Труды Лабор. вулканологии АН СССР, 1958, вып. 15.
- Иванов В. В. Гидротермы Камчатско-Курильской вулканической зоны.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1954, т. 29, вып. 5.
- Иванов В. В. О происхождении Камчатских термальных вод.— В кн.: «Вопросы изучения курортных ресурсов СССР», Изд-во ЦИ Курорт». 1955.
- П а б о к о С. И. Хроника.— Бюлл. вулканол. станций, 1954. № 22.
- Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки.— Труды СОПС АН СССР, серия Камчатская, 1937, вып. 2.
- Устинова Т. И. Верхне-Семячинские горячие ключи.— Изв. Всес. геогр. об-ва, 1947, т. 79, вып. 4.