

Е. К. МАРХИНИН
Д. С. СТРАТУЛА

Гидротермы Курильских островов

ИЗДАТЕЛЬСТВО « НАУКА »

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ

551.2

Е. К. МАРХИНИН,
Д. С. СТРАТУЛА

Гидротермы
Курильских
островов

2248



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1977



Гидротермы Курильских островов, Мархинин Е.К.,
Стратула Д.С. М., "Наука", 1977.

В монографии даются сведения о термальных источниках Курильских островов. Анализируются геохимические особенности гидротерм, рассматривается зависимость параметров горячих источников от землетрясений и возможность предсказания последних на основе гидрохимических показателей гидротерм.

Отдельно рассматривается вопрос о возможности существования органических соединений и простейших организмов в экстремальных условиях.

Книга рассчитана на широкий круг географов, гидрогеологов, геологов, геохимиков, вулканологов и биохимиков.

Ответственный редактор

кандидат геолого-минералогических наук
В.М. СУТРОБОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель настоящей работы — свести воедино данные по термальным источникам Курильских островов, собиравшиеся авторами лично начиная с 1954 г. и полученные другими исследователями, и дать их теоретический анализ.

Разные острова и разные группы термальных источников охарактеризованы с различной детальностью. Это вызвано их неравномерной изученностью, а также меньшей или большей степенью интереса, который они вызывают. Особенно подробно описаны типичные представители фумарольных терм — гидротермы вулкана Эбеко (о. Парамушир) и имеющие важное практическое значение гидротермы Горячего Пляжа (о. Кунашир). Относительно подробные сведения приводятся также по некоторым горячим источникам Центральных Курильских островов, которые авторами описаны, по-видимому, впервые.

Описания термальных источников составляют первую часть работы.

Вторая (теоретическая часть) включает анализ геохимической работы сульфатов и гидросульфатов, вопросы баланса вещества в современном гидротермальном процессе, рассмотрение влияния микроорганизмов на состав и геохимическую работу гидротерм. Наконец, она касается проблемы существования некоторых органических соединений в экстремальных условиях, которая связана с вопросами происхождения жизни, а также вопросов зависимости состава гидротерм от сейсмической активности и возможности предсказания землетрясений гидрохимическим путем.

В подготовке материалов для первой части книги большое участие принимали Б.В. Стырикович, О.Г. Воробьев, М.Б. Голубовский и М.В. Ольшевский. В ниге широко использованы работы Г.М. Власова, В.В. Иванова, С.И. Набоко, С.С. Сидорова, а также В.В. Бочкарева, В.Е. Бевза, И.Г. Смирнова, Б.Д. Шулякова и многих других исследователей, ссылки на

которых сделаны в соответствующих местах текста. В заключительной части книги подразделы "Особенности микробиологии гидротерм" и "Об участии микроорганизмов в осаждении серы в гермальных источниках" написаны А.А.Тен-Хак-Муном. В работе над разделом "Зависимость химического состава термальных вод от сейсмической активности" принимала участие Л.И.Божкова.

При работе над книгой большую помощь авторам оказали И.Б.Мархинина и Н.С.Филина.

Всем упомянутым лицам авторы выражают свою искреннюю признательность.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ПАРОГАЗОВЫЕ ВЫХОДЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

ДВА ОСНОВНЫХ ТИПА ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

Все горячие источники и выходы пара на островах могут быть подразделены на два типа (Мархинин Е.К., 1956, 1967):

1. Горячие источники и выходы пара, связанные с историей формирования современных построек действующих вулканов.

2. Термальные проявления, непосредственно не связанные с формированием этих построек (хотя влияние на них вулканических очагов и интрузивных процессов, особенно термальное, разумеется, есть).

Первые источники, как правило, представляют собой специфическую группу термальных проявлений, приуроченную к вулcano-тектоническим разрывным нарушениям. Для этих источников характерны следующие общие черты; 1) они большей частью располагаются среди молодых вулканических образований, нередко на значительной высоте над уровнем моря; 2) они испытали на себе огромное влияние вулканических газов, что и определило при формировании их состав; 3) они возникли в последний, часто посткальдерный, период деятельности вулканов.

Деятельность этой группы горячих источников и выходы пара обусловили формирование многих серных месторождений.

Вторые источники расположены обычно среди неогеновых образований и приурочены к разрывным нарушениям собственно тектонического типа.

Эти два основных типа термальных источников и парогазовых выходов Курильских островов характеризуются соответственно двумя химическими типами вод:

воды источников первого типа кислые, как правило, серно- и серно-кислые, с очень низкими значениями pH и разнообразным катионным составом;

воды источников второго типа близки к нейтральным или щелочным натрово-хлоридным.

Два химических типа термальных вод отражают два главных фактора формирования состава термальных вод на Курильских островах: 1) вулканические или, точнее, магматические газы; 2) морская вода, погребенная или фильтрующаяся, и солевой состав морских осадков. Эти факторы оказывают свое влияние на состав воды ис-

точников, которые, в конечном счете, становятся атмосферными и могут быть пластовыми, трещинными, грунтовыми и поверхностными.

Одновременное влияние обоих факторов приводит к формированию гидротерм промежуточного состава и обуславливает разнообразие составов термальных вод в источниках. Несмотря на очевидные различия между водами первого и второго типов, они, несомненно, генетически взаимосвязаны.

ОПИСАНИЕ ПАРОГАЗОВЫХ ВЫХОДОВ И ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

На карте (рис. 1) показаны основные группы парогазовых выходов и термальных источников Курильских островов. Они прослеживаются на всех островах Большой гряды за исключением Шумшу, Анциферова, Макаруши, Райкоке и Броутона. На островах Малой гряды современные гидротермальные проявления не обнаружены.

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА ПАРАМУШИР

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА ЭБЕКО

Вулкан Эбеко расположен в северной части о. Парамушир, в 8 км к северу-западу от пос. Северо-Курильска. На вершине и склонах его находятся многочисленные горячие источники.

Вулкан Эбеко в 1951 г. был описан Ю.С. Желубовским. В 1952 г. его обследовали Г.М. Власов, В.М. Никольский и В.В. Бочкарев. В 1955 и 1956 гг. В.В. Ивановым снова было произведено обследование гидротермальной деятельности вулкана Эбеко. В его работах (1956, 1957) приводятся сведения по химическому составу термальных вод вулкана Эбеко и освещены вопросы их формирования. В 1959 г. Е.К. Мархинин составил первое подробное и систематическое описание гидротермальных проявлений вулкана Эбеко. В 1960 и 1961 гг. вулкан Эбеко детально изучался сотрудниками Сахалинского комплексного научно-исследовательского института СО АН СССР В.Н. Шиловым, И.П. Аверьяновым, Л.Г. Вороновой, В.И. Федорченко и С.С. Сидоровым.

Кроме этого, много интересных данных по генезису и химическому составу минеральных вод, газов, эксгаляций и измененных пород имеется в работах С.И. Набоко (1959, 1962 г., 1963 г.), Е.П. Рябичкиной (1969), Л.В. Сурниной (1959), А.С. Нехорошева (1960), К.К. Зеленова (1959, 1960), И.Т. Кирсанова и др. (1964) С.С. Сидорова и др., (1962).

На основании исследований Е.К. Мархинина далее описываются газогидротермальные проявления вулкана Эбеко.

Вулкан Эбеко входит в состав вулканической цепи хр. Вернадского. Сомма его (3-5 км диаметром) на севере тесно слита с разрушенным вулканом Ветровым, а на юге - с остатками древнего

вулкана Наседкина. Гребень соммы в северной половине разделен речными и ледниковыми долинами на ряд изолированных вершин; в южной половине гребень соммы почти полностью разрушен. Центральный конус вытянут в меридиональном направлении и имеет высоту 200–220 м. На его вершине находятся три кратера диаметром около 300 м каждый. Перемычки между кратерами почти полностью разрушены. Дно среднего кратера занято оз. Горячим, в северном расположено небольшое холодное озеро, имеющее полукруглую форму. Дно южного кратера находится на 40–50 м выше дна северного. Несколько эксплозивных кратеров размещается на склонах центрального конуса.

Извержения вулкана происходили в 1773, 1859, 1934 гг. В 1934 г. было одно из сильнейших извержений. Именно тогда в Среднем кратере образовалось оз. Горячее. Фреатические взрывы отмечены в марте 1963 г., в августе 1965 г. и с февраля по апрель 1967 г.

В фундаменте вулкана залегают плиоценовые морские мелководные осадки, содержащие значительное количество пирокластических продуктов. Сомма его — это стратовулкан. Толща переслаивающихся лав и их туфов на внешнем склоне северо-западной части соммы прорвана дайкой широтного простиранья. Древние лавовые потоки обнажаются на восточном склоне соммы.

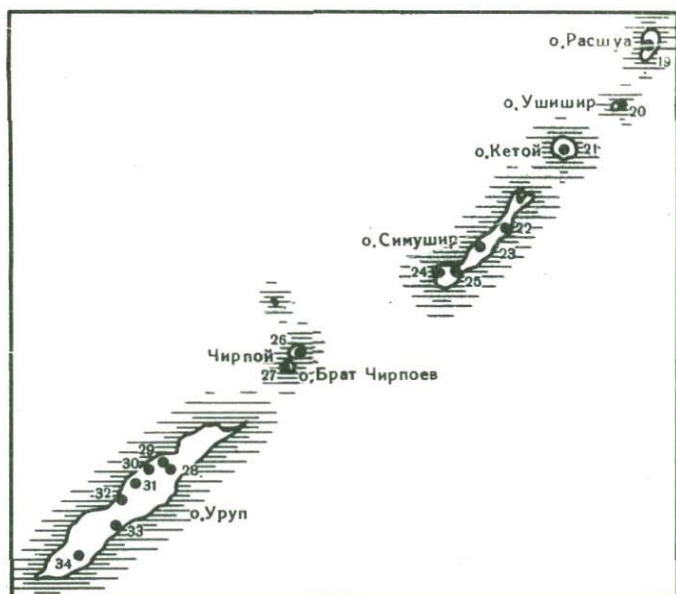
Центральный конус сложен пирокластическим материалом, преимущественно пеплом. Среди пирокластики встречены округлые, по-видимому, ледниковые валуны. У подножья западного склона центрального конуса находится поток глыбовой лавы, отдельные языки его спускаются далеко вниз по долинам речек, врезающихся в гребень соммы. Излияния лавы происходили из лавовых бокк, расположенных на западных склонах центрального конуса. Последующая эрозия сильно сравняла лавовые бокки, а истоки лавовых потоков и верхняя часть лавового плато, примыкающего к конусу, перекрыты рыхлым материалом.

Породы, слагающие вулкан, часто преобразованы в опалово-алунитовые массы с серой, которые иногда на глубине 10–15 м сменяются сульфидами железа. Наиболее интенсивная алунитизация пород происходит на прогретых участках вод воздействием газогидротерм. Алунитизация сопровождается полным обесцвечиванием пород при сохранении первоначальной структуры.

Основная масса сольфатар и гидросольфатар вулкана Эбеко расположена в трех его "центральных" кратерах и в верхней части его восточного склона (рис. 2).

Описание сольфатарных полей

В 1959 г. Е.К. Мархининым, более или менее условно, у вулкана Эбеко было выделено девять сольфатарных полей: 1) сольфатарное поле среднего кратера (кратера с теплым озером); 2) сольфатарное поле верхнего кратера; 3) сольфатарное поле северного кратера; 4) западное сольфатарное поле; 5) юго-восточное сольфатарное по-



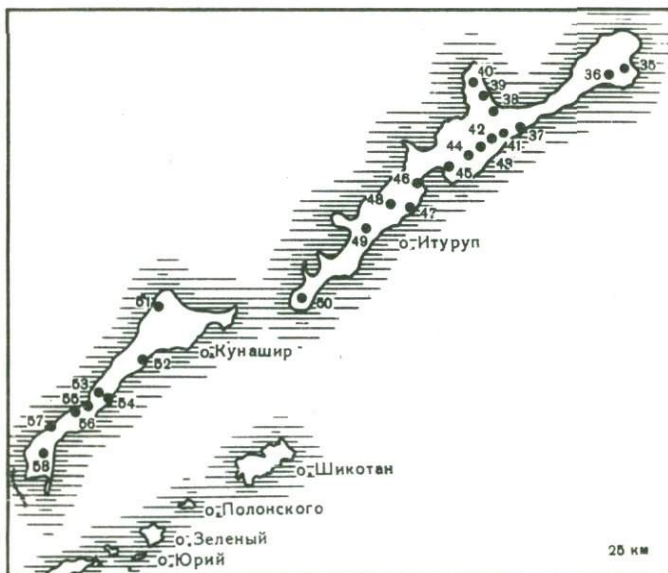


Рис. 1. Схема расположения основных горячих источников и парогазовых выходов на Курильских островах

1 - гидротермы вулкана Эбеко; 2 - Верхне-Юрьевские источники; 3 - источники вулкана Вернадского; 4 - гидротермы вулкана Чикурачки; 5 - гидротермы вулкана Тагаринаова; 6 - гидротермы вулкана Фусса; 7 - гидротермы вулкана Карпинского; 8 - источники реки Рудной; 9 - гидротермы вулкана Алаид; 10 - минеральные источники о. Маканруши; 11 - сольфатары вулкана Пик Немо; 12 - сольфатары вулкана Пик Криницына; 13 - гидротермы о. Харимкоган; 14 - гидротермы вулкана Синарка; 15 - гидротермы вулкана Кунтомингар; 16 - гидротермы вулкана Экарма; 17 - гидротермы вулкана Чиринкоган; 18 - сольфатары вулкана Сарычева; 19 - горячие источники о. Расшуа; 20 - гидросольфатары о. Ушишир; 21 - гидротермы о. Кетой; 22 - горячие источники Иканмикот; 23 - гидротермы кальдеры Заварицкого; 24 - источник горы Обрывистой; 25 - Мильновские источники; 26 - сольфатары вулкана Черного; 27 - сольфатары вулкана Чирпой; 28 - гидросольфатары вулкана Трезубеш; 29 - гидротермы вулкана Берга (Марьинские источники); 30 - Пегушковские источники; 31 - источники мыса Непройдешь; 32 - источники мыса Ключевой; 33 - источники р. Нигори; 34 - источники р. Половодной; 35 - сольфатары вулкана Кудрявый; 36 - гидротермы вулкана Меньшой Браг; 37 - источники мыса Евгения; 38 - Рейдовские источники; 39 - Лососевые источники; 40 - гидротермы вулкана Чирип; 41 - гидротермы вулкана Баранского; 42 - источники Глухие; 43 - гидротермы вулкана Тебенкова; 44 - сольфатары вулкана Иван Грозный; 45 - источники Горячий Ключ; 46 - Дачные источники; 47 - Крабовые источники; 48 - гидросольфатары вулкана Буревестник; 49 - Стокапские источники; 50 - гидротермы вулкана Беругарубе; 51 - Нескученские термальные источники; 52 - источник Добрый Ключ; 53 - гидросольфатары вулкана Менделеева; 54 - источники Горячий Пляж; 55 - Столбовские источники; 56 - Третьяковские источники; 57 - Алехинские источники; 58 - гидросольфатары вулкана Головнина

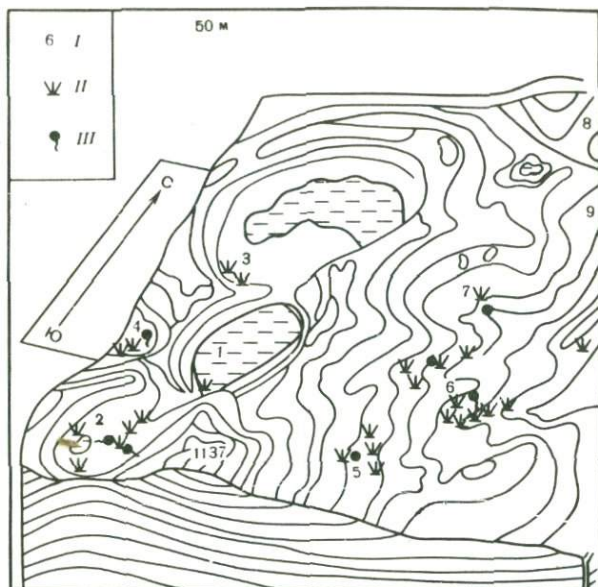


Рис. 2. Сольфатарные поля вулкана Эбеко. Изометрическая блок-диаграмма

Составил Е.К. Мархинин, 1959 г.

I - номера сольфатарных полей по порядку: 1 - среднего кратера, 2 - верхнего кратера, 3 - северного кратера, 4 - западное, 5 - юго-восточное, 6 - первое восточное, 7 - второе восточное, 8 - северо-восточное, 9 - ручья Лагерного; *II* - главнейшие сольфатары; *III* - главнейшие гидросольфатары

ле; 6) первое восточное сольфатарное поле; 7) второе восточное сольфатарное поле; 8) северо-восточное сольфатарное поле; 9) гидросольфатары ручья Лагерного и его притоков.

Сольфатарное поле среднего кратера

Весной 1959 г. по берегам Горячего озера внутри среднего кратера находилось значительное число горячих источников и парогазовых струй. Они были расположены почти исключительно вдоль его западного и южного берегов. По свидетельству Г.М. Власова, В.В. Иванова и жителя пос. Северо-Курильск Н.Ф. Бредиса, большое число фумарол раньше располагалось и на восточном и юго-восточном берегах оз. Горячего. По свидетельству Н.Ф. Бредиса, эти фумаролы отличались особенно высокой температурой. Крупные изменения на оз. Горячем произошли с июня 1957 г. по июнь 1958 г. Последние сольфатары на восточном берегу озера исчезли в 1958 г. Уровень озера с 17 июня 1957 г. по июнь 1958 г. понизился, по словам Н.Ф. Бредиса, почти на два метра. Одновременно сильно понизилась

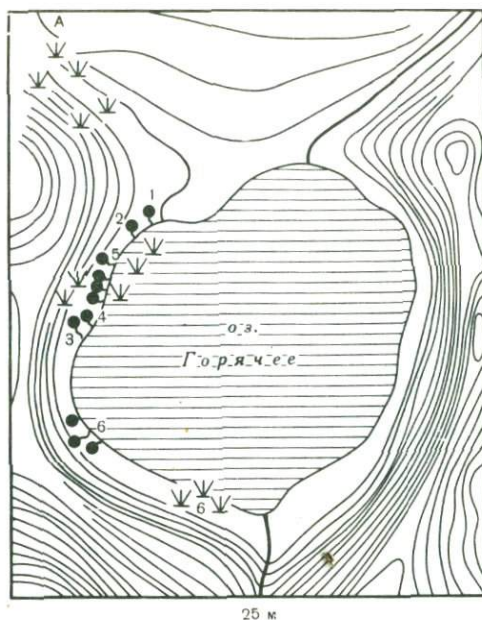


Рис. 3. План расположения сольфатар среднего кратера вулкана Эбеко.

Составил Е.К. Мархинин Май-июнь 1959 г. А. Сольфатары северного кратера. Цифры к рис. 3-11 см. в тексте

и температура воды озера от "горячей" до "температуры парного молока". О значительном понижении уровня воды в озере и ее температуры свидетельствует и тот факт, что 30.VIII 1955 г. В.В. Ивановым была взята проба воды из ручья, вытекающего из озера, и температура в нем была $45-60^{\circ}$, в то время как в 1959 г. уже 2.VI, благодаря низкому уровню воды в озера, стока из него не было, а температура основной массы воды в озере была $28-30^{\circ}$.

Основные сольфатары и гидросольфатары среднего кратера по состоянию на 2 июня 1959 г. показаны на схеме (рис.3). По направлению с севера на юг это были следующие выходы горячей воды и пара.

Грифон 1 представлял собой небольшой выход мутной благодаря взвеси тонкодисперсной серы воды с температурой 66°C ¹. Он находился на расстоянии двух метров от уровня озера.

Грифон 2 располагался в нескольких метрах к югу от грифона 1. Маленький горячий ручеек (температура 86°). Он вытекал из кратерной стенки в озеро. Дебит его оценен приблизительно в 0,05 л/сек (табл. 1).

Грифоны 3 и 4 представляли собой котлообразные углубления диаметром 3-4 м с мутной, месгами "кипящей" водой, покрытой темно-серой серной пеной. Температура воды соответственно 86 и 78° .

¹ Температура сольфатар и гидросольфатар среднего кратера даны по состоянию на 2.VI 1959 г.

Таблица 1

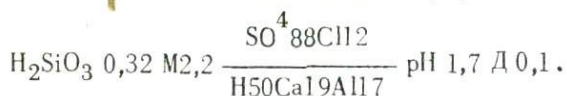
Химический состав воды ручья

Анионы	мг/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	мг/л	мг-экв.	% экв.
SO ₄ ²⁻	1580,0	32,92	58,38	H ⁺	31,00	31,00	56,84
HSO ₄ ⁻	-	-	-	Na ⁺ + K ⁺	15,50	0,67	1,24
Cl ⁻	830,00	23,45	41,62	Mg ⁺⁺	23,80	1,96	3,58
HCO ₃ ⁻	-	-	-	Ca ⁺⁺	234,40	11,72	21,47
CO ₃ ²⁻	-	-	-	Fe ⁺⁺	-	-	-
F ⁻	Не опр.	-	-	Fe ⁺⁺⁺	30,20	1,62	2,98
Br ⁻	То же	-	-	Al ⁺⁺⁺	68,10	7,57	13,89
J ⁻	"	-	-	NH ₄ ⁺	-	-	-
Σ анионов	2410,0	56,37	100,00	Σ катионов	403,10	54,55	100,00

Недиссоциированные молекулы, мг/л		
H ₂ SiO ₃	HBO ₂	H ₃ AsO ₃
280,10	Не опр.	Не опр.

Примечание. Сухой остаток не определялся. Минерализация (г/л)=3,0933. pH=1,5. Проба отобрана 2.VI 1959 г. Е.К.Мархининым. Аналитик М.П. Баранова.

Формула Курлова состава воды из грифона 3:



Грифон 5 находится на склоне кратера в глубокой яме, образовавшейся за счет деятельности сольфатар. Восточнее грифонов 4-5, непосредственно на берегу озера, расположены неглубокие блюдцеобразные углубления, диаметром 2-3 м с мутной водой, имеющей температуру 35-41°, с пробивающимися слабыми струйками сольфатарных газов.

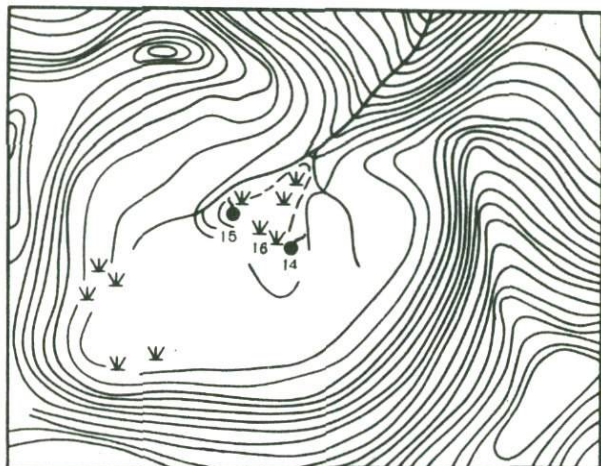
Грифон 6 представлял собой группу очень небольших горячих источников с температурой 87-96° и дебитом в сотые доли л/сек.

Сильных газовых струй на западном берегу озера не было. Большинство грифонов, однако, сопряжено с небольшими сольфатарами. Значительное количество небольших газовых струек пробивалось и со дна озера в его прибрежной части.

На южном берегу озера в течение многих лет действовали несколько сильных газовых струй, образующих время от времени серные конуса (высотой порядка 1 м). Давление в наиболее сильной струе было не менее десятых долей атмосферы. Температура газовых струй по замерам, сделанным "максимальным" термометром, нигде не превышала 100°, однако, судя по наличию на южном берегу озера небольших покоев расплавленной серы, она в недавнем прошлом в отдельных струях должна была превышать 112° (температура плавления серы). Согласно В.В. Иванову, в 1955 г. температура газов на выходах достигала 130°.

Сольфатарное поле верхнего кратера ¹

Сольфатарная деятельность в верхнем кратере в 1959 г. проявлялась слабее, чем в среднем. Несколько небольших выходов сольфатарных газов (температура 87°) находились у подножья южной стенки кратера, но основные выходы сольфатар располагались в его северной части, формируя небольшое возвышение (высота этого возвышения порядка 2,5 м) Т-образной формы (рис. 4). Наиболее крупные выходы следующие.



25 км

Рис. 4. План расположения сольфатар Верхнего кратера вулкана Эбеко.

Составил Е.К. Мархинин. Май-июнь 1959 г.

Сольфатара 14 представляла собой небольшой котел (диаметром около 1 м и такой же глубины), на дне которого находилась лужина бурлящей грязи. Температура ее была $77,5^{\circ}$.

Сольфатара 15 выглядела как пещерообразное углубление диаметром около двух и глубиной до 1,5 м. На дне его было слышно слабое клокотание жидкости. Температура пара на выходе была 96° .

Сольфатара 16 — это сильная струя пара с температурой у поверхности 81° . Рядом небольшая струя имела температуру 87° . Температуры сольфатар и гидросольфатар и их интенсивность в верхнем кратере, так же как и в среднем, за последние годы несколько уменьшились. (В частности, В.В. Иванов по состоянию на 30. VIII 1955 г. дает максимальную температуру сольфатары 15 на выходе 100°).

¹ Температуры сольфатар в верхнем кратере даны по состоянию на 4. VI 1959 г.

Сольфатарное поле северного кратера

Сольфатары в кратере оз. Холодного выходят на юго-западной, относительно высокой его стенке. Выходы расположены кучно. Большинство струй небольшие и слабо парят. Только в одном из выходов давление достигает, по-видимому, десятых долей атмосферы, и парогазовая струя отбрасывает мелкие камешки. Температура в этой сольфатаре 13.VI 1959 г. равнялась 97°C . В двух соседних больших струях — 96° . Во многих местах юго-западная стенка северного кратера покрыта белыми выцветами сульфатов.

Западное сольфатарное поле

Западное сольфатарное поле отделено от среднего кратера невысокой перемычкой измененных пирокластических пород. По свидетельству Н.Ф. Бредиса, в то время как интенсивность сольфатарной деятельности в среднем кратере за последние годы уменьшилась и ряд сольфатар исчез, на западном сольфатарном поле, наоборот, возникло несколько новых сольфатарных выходов (рис. 5). Основные из них следующие.

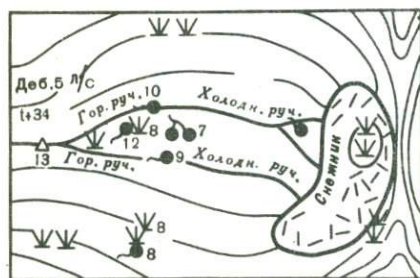


Рис. 5. План западного сольфатарного поля вулкана Эбеко.

Составил Е.К. Мархинин, Май-июнь 1959 г.

Грифон 7 представляет собой яму длиной 2 м, шириной около 1 м и глубиной порядка 70 см с мутной, клокочущей, кислой водой. Температура воды 96°C ¹.

Грифон 8 расположен рядом с грифоном 7. Это небольшое углубление с кислой бурлящей водой с температурой 82° .

Сольфатара 8 — группа сольфатар, из которых одна относительно сильная. Парогазовые струи выбивают из ряда шелевидных отверстий. Температура их на выходах 96° .

Грифон 8 находится в 5 м от сольфатары 8. Представляет собой котел длиной около 4 м, шириной 1,5 м и глубиной 40 см, с высотой берегов 1 м. В нем бурлит грязно-мутная, пахнущая сероводородом вода. Температура ее 88° . Дебит источника 0,3 л/сек.

¹ Температура сольфатар и гидросольфатар западного сольфатарного поля дана по состоянию на 3.VI 1959 г.

Таблица 2

Химический состав воды

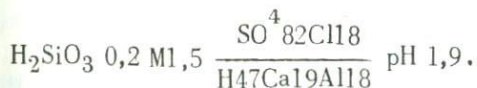
Анионы	мг/л	мг-экв	% экв	Катионы	мг/л	мг-экв	% экв
SO ₄ ⁻	650,0	13,54	90,00	H ⁺	6,3	6,3	40,12
HSO ₄ ⁻	-	-	-	Na ⁺ + K ⁺	22,0	0,95	6,04
Cl ⁻	56,0	1,58	10,0	Mg ⁺⁺	16,0	1,32	8,48
HCO ₃ ⁻	-	-	-	Ca ⁺⁺	57,2	2,86	18,33
CO ₃ ⁻	-	-	-	Fe ⁺⁺	-	-	-
F ⁻	Не опр.	-	-	Fe ⁺⁺⁺	39,2	2,1	13,48
Br ⁻	То же	-	-	Al ⁺⁺⁺	19,0	2,11	13,55
I ⁻	"	-	-	NH ₄ ⁺	-	-	-
Σ анионов	706,0	15,12	100,00	Mn ⁺⁺	-	-	-
				Cu ⁺⁺	-	-	-
				Σ катионов	159,7	15,64	100,00

Недиссоциированные молекулы, мг/л

H ₂ SiO ₃	HBO ₂	H ₃ AsO ₃
197,1	Не опр.	Не опр.

Примечание. Сухой остаток не определялся. Минерализация, г/л=3,0933, pH=1,5. Проба отобрана 2.VI 1959 г. Е.К. Мархининым. Аналитик М.П. Баранова.

Химический состав воды:



Грифон 9 расположен приблизительно на 1 м выше грифонов 7 и 8. Это — лужа снеговой воды над выходами сольфатарных газов. Диаметр грифона 3 м, глубина 0,5 м. Температура воды 82°. Вода постоянно сильно бурлит. Расположенный рядом небольшой грифон диаметром 0,5 м постоянно выбрасывал воду на высоту 30–40 см.

Грифон 10 представляет собой бурлящий ключ с диаметром около 1 м. Температура воды в нем 62°. В него впадает небольшой ручей с температурой 25°. Из него вытекает горячий ручей с температурой 39°, с дебитом 3 л/сек.

Грифон 11 очень слабый теплый (температура 37°) источник, характерен тем, что по всему руслу вытекающего из него ручейка выпадает в осадок белая сера. Дебит 0,4 л/сек.

Сольфатара 12 — отдельная небольшая сольфатара с горячим ключом. Кислые термальные воды западного сольфатарного поля на земной поверхности сливаются в один теплый ручей (температура ручья в точке 13–34°). Дебит около 5 л/сек.

Юго-восточное сольфатарное поле

Юго-восточное сольфатарное поле представляет собой несколько слабых выходов сольфатар с температурой $94-98^{\circ}$ (рис. 6).

Сольфатара 34 — это много относительно сильных струй пара, выходящих из отверстий разного диаметра. Диаметр наибольшего — около 15 см. Видимая глубина его приблизительно 40–50 см. Вокруг выходов есть отложения серы. Температура на выходах 98° . Сольфатара расположена на склоне небольшого возвышения (около 6 м), где находятся еще ряд маломощных сольфатар.

Сольфатара 35 слабая, расположена на расстоянии 6 м от сольфатары 34. Пар выходит из щелевидного отверстия длиной 15 см, температура 94° .

Сольфатара 36 располагается к северо-западу от сольфатары 34 на расстоянии приблизительно 30 м. Пар выходит из большого отверстия шириной около 50 см. От сольфатары 36 на расстоянии

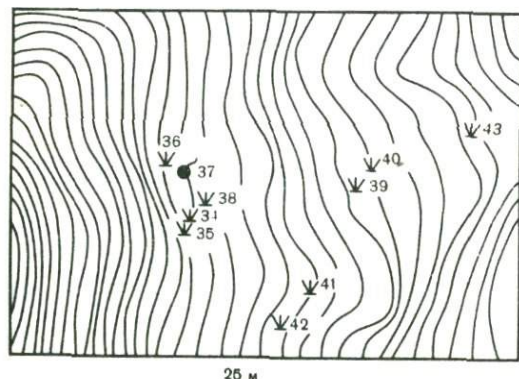


Рис. 6. План юго-восточного сольфатарного поля вулкана Эбеко.

Составил Е.К. Мархинин. Май-июнь 1959 г.

2,5 м протекает маленький теплый ручеек (температура 28°). На небольшом расстоянии от сольфатары 36 расположен также небольшой грифон 37 с мутной кислой водой с температурой 85° .

Сольфатара 38 — это небольшая паро-газовая струя, выходящая из щелевидного отверстия и расположенная в 6 м от сольфатары 34.

Сольфатара 39 расположена на расстоянии около 80 м к востоку от сольфатары 34, ниже по склону. Пар выходит сильной струей из отверстия диаметром около 30 см. Температуры пара на глубине 60 см от поверхности $98^{\circ 01}$.

Сольфатара 40 — группа небольших выходов пара, на дне промоины. Пар выходит из небольших щелевидных отверстий. В одном месте под коркой породы слышно хлокотание небольшого грифона.

Сольфатара 41 находится приблизительно в 55 м по аз. 200° от сольфатары 40. Представляет собой группу очень небольших, слабых выходов паровых струй.

Сольфатара 42 расположена в 25 м от сольфатары 41 по аз. 220° . Образует небольшое (площадь несколько десятков квадрат-

¹ Для сольфатар 39–43 температуры даны по состоянию на 8.VI 1959 г.

ных метров) поле затухающих сольфатар, вытянутое в широтном направлении.

Сольфатара 43 – группа небольших сольфатар, занимающих воронкообразное углубление, вытянутое в направлении с запада на восток. Имеется несколько очень небольших грифончиков. Один из них расположен в пещерообразном углублении. Температура воды в нем 85° . Температура воды в грифончике, находящемся в 4 м к юго-западу от него, 95° . Температура сольфатарных струй $94-96^{\circ}$.

Первое восточное сольфатарное поле

Эта группа сольфатар отличается в настоящее время значительно более мощной сольфатарной деятельностью. Сольфатары и гидросольфатары расположены здесь по боргам и дну относительно глубокого оврага, простирающегося в северо-восточном направлении. Наиболее значительные из них следующие (рис. 7).

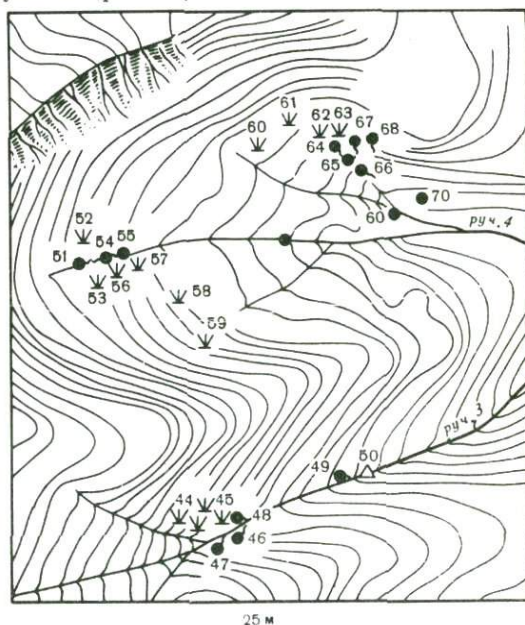


Рис. 7. План первого и второго восточных сольфатарных полей вулкана Эбеко.

Составил Е.К.Мархинин, Май-июнь, 1959 г.

Сольфатара 44 – несколько небольших и три весьма сильных выхода паргазовых струй, расположенных на небольшом возвышении сплошь покрытом белыми и желтыми возгонами. Температура пара $97^{\circ}1$.

Сольфатара 45 – группа мощных сольфатар с температурой $96,5-97^{\circ}$. Около отдельных сильных струй конусы из серы, покрытые кристалликами игольчатой серы. Сила отдельных струй такова, что они отбрасывают мелкие камешки. Среди сольфатар имеются отдельные мелкие грифончики.

¹ Для сольфатар 44-49 температуры даны по состоянию на 9.VI.1959 г.

Сольфатара 46 – сильная парогазовая струя с конусом из серы высотой 40 см. Диаметр отверстия около 10 см. Струя отбрасывает мелкие камешки. Рядом, в 1,5 м, – серный конус высотой 40 см почти погнутый. Между сольфатарами 45 и 46 очень много мелких парогазовых выходов и грифончиков. Все они расположены приблизительно в одной полосе.

Правый борг оврага покрыт ярко-красными окислами железа, а также белыми и желтыми выпарками возгонов.

Грифон 47 расположен близ дна оврага, в 4 м ниже сольфатары 46. Вода в нем чистая, без запаха и вкуса. Температура воды 85°.

Грифон 48 – небольшой брызгающий грифончик, расположенный в 7 м от грифона 47, с температурой воды до 94°.

Грифон 49 – маленький грифончик близ русла ручья. Температура воды 88°. Ручей, протекающий по дну оврага, начинается тремя холодными ручьями, питающимися снежной водой. В пределах сольфатарного поля эта вода прогревается сольфатарными струями и ниже грифона 49, в точке 50, имеет температуру 32°.

Второе восточное сольфатарное поле

Это сольфатарное поле расположено по боргам обширного амфитеатра, сложенного измененными породами, в дне которого образовалось под действием снежных талых вод несколько промочи. Сольфатарная деятельность здесь характеризуется значительной интенсивностью (рис. 7).

Грифон 51 – бурлящий котел диаметром приблизительно 1,5 м, глубиной около 2 м, до глубины 1 м заполнен грязно-мутной водой. На поверхности воды прослеживается серная пена грязно-зеленого цвета. Температура воды достигает 92° (табл. 3).

На расстоянии 4 м от грифона 51 расположена сольфатара 52. Пар выходит из нескольких круглых щелевых отверстий, температура пара 96°.

Сольфатара 53 находится в 6 м от грифона 51. Пар выходит слабыми струйками из многочисленных отверстий, температура пара 97°.

Грифон 54 – ряд небольших грифончиков, образующих бурлящую лужу, расположенную в 2 м от грифона 51. Вода в них прозрачная, очень кислая, с температурой 74°. Из грифона вытекает горячий ручеек. На расстоянии 8–10 м от грифона 54 по руслу ручейка расположен грифон 55. Это два больших бурлящих водоемчика диаметром соответственно 60 и 30 см с мутной, кислой водой с температурой 97°. Русло ручья во многих местах покрыто минеральными выпарками грязно-зеленого цвета.

Сольфатара 56 объединяет чегыре выхода сольфатарных газов средней мощности. Пар выходит из щелевидных отверстий, температура его 96°.

Сольфатара 57 расположена на расстоянии 4 м от группы сольфатар 56. Диаметр отверстия около 40 см. Температура пара 98°.

Таблица 3

Химический состав воды грифона 51

Анионы	мг/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	мг/л	мг-экв.	% экв.
SO_4^{--}	224,0	4,65	0,35	H^+	1260,0	1260,0	95,03
HSO_4^-	-	-	-	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	109,5	3,65	0,27
Cl^-	46500,0	1310,0	99,64	Mg^{++}	56,1	4,61	0,34
HCO_3^-	-	-	-	Ca^{++}	316,0	15,80	1,20
CO_3^{--}	-	-	-	Fe^{++}	447,5	16,02	1,20
F^-	-	-	-	Fe^{+++}	31,5	1,69	0,12
Br^-	-	-	-	Al^{+++}	221,5	24,3	1,83
I^-	-	-	-	NH_4^+	-	-	-
Σ анионов	46749,6	1314,97	100,00	Mn^{++}	5,5	0,20	0,01
				Σ катионов	2448,6	1326,88	100,00

Недиссоциированные молекулы, мг/л

H_2SiO_3	H_2BO_3	H_3AsO_3
355,0	Не опр.	Не опр.

Примечание. Сухой остаток не определялся. Минерализация (г/л)=49,552; pH=0. Проба отобрана 2.VI 1959 г. Е.К. Мархининым. Аналитик М.П. Баранова.

Сольфатара 58 - мощная струя с диаметром отверстия 15-20 см, оббрасывающая мелкие камешки. Температура на глубине 40 см - 96°.

Сольфатара 59 - группа (порядка 20) выходов сольфатарных паров по правой стороне амфитеатра.

Сольфатара 60 - группа слабых сольфатарных струй и грифончиков, проявляющихся на небольшой глубине от поверхности.

Сольфатара 61 - группа (20-25) слабых сольфатарных струй, рассеянных вдоль склона.

Сольфатара 62 - крупная сольфатара с температурой 96,5°. Пар выходит из отверстия диаметром около 20 см. На выходе пара - отложения серы.

Сольфатара 63 - несколько выходов сольфатарных газов, покрытых отложениями серы, температура 96°. В углублении (длиной около 1,5 м и высотой стенок порядка 1 м) бьют небольшие грифончики с прозрачной слабокислой на вкус водой. Температура их 87° (грифон 64).

Грифоны 65-66 расположены по руслу горячего ручья в расстоянии 1,5 м один от другого. Температура их 94°. Вода слабомутная, кислая.

Грифон 67 - кипящий водоемчик длиной около 1 м, шириной 30 см. Расположен на расстоянии 3 м от грифона 66. Температура 95°.

¹ По состоянию на 11.VI 1959 г.

Грифон 68 находится в углублении (длиной 3 м, шириной 1 м), температура его 97°. Он является истоком горячего ручейка. Рядом расположены выходы сольфатар.

На протяжении всего горячего ручья встречается ряд мелких грифончиков с температурой 90–92°.

Грифон 69 – источник прозрачной, на вкус почти пресной воды с температурой 67°. Его дебит 0,2 л/сек. Он прослеживается на высоте 0,5 м над руслом холодного (снегового) ручья. Вдоль русла ручейка, вытекающего из горячего источника, отложения белой серы.

Грифон 70 – источник ниже по руслу ручья, приблизительно в 10 м от грифона 69. На левом борту имеется пещерообразное углубление, заполненное мутной кислой водой с запахом сероводорода с температурой 85°. Глубина водоемчика около 70 см, длина 1,5 м.

В северо-западной части сольфатарного поля, у подножья обрыва, 8 марта 1963 г. возникла новая мощная фумарола. Ее диаметр примерно равен 4 м. Из отверстия под большим давлением вырывается плотная масса бело-желтого дыма. По данным сотрудников Северо-Курильской сейсмической станции, фумарола временами выбрасывает обломки породы диаметром до 5–8 см. К настоящему времени выход фумаролы “перекочевал” в сторону “Ревущих сольфатар”.

Северо-восточное сольфатарное поле („Ревущие“ сольфатары, Белый Ключ)

Северо-восточное сольфатарное поле расположено близ старой дороги, соединяющей пос. Северо-Курильск с серными месторождениями вулкана Эбеко (рис. 8). Поле характеризуется очень интенсивной сольфатарной деятельностью. Наиболее крупные сольфатары следующие.

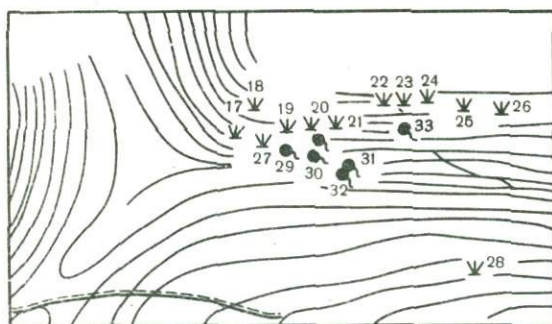


Рис. 8. План северо-восточного сольфатарного поля вулкана Эбеко.

Составил Е.К.Мархинин, Май-июнь 1959 г.

Сольфатара 17 расположена на небольшом возвышении (около 1 м), покрытом игольчатыми кристаллами серы. Выбрасывает столб пара высотой 3–4 м. Температура пара 96°¹.

Сольфатара 18 находится в верхней части склона, в 10 м к северо-востоку от сольфатары 17. Проявляет умеренную деятельность.

¹ По состоянию на 5.VI 1959 г.

Пар выходит из нескольких отверстий. Температура его 97°. Вокруг выходов пара прослеживаются небольшие отложения серы.

Сольфатара 19 расположена вниз по склону на расстоянии 10–15 м к юго-востоку от сольфатары 18. Это пещерообразное углубление длиной около 1,5 м, с диаметром приблизительно 1,5 м, покрытое отложениями серы. Температура пара у поверхности 94°.

Сольфатара 20 расположена в 3–4 м от сольфатары 19. Одна из наиболее мощных сольфатар, выбрасывающих большой столб пара. Пар бьет из нескольких щелевидных трещин. Температура его 98°. У выходов пара значительные отложения серы. Камни близ выходов покрыты желто-зелеными выпарками сульфатов. Близ сольфатары – несколько небольших горячих источников с температурой воды 64°. Русло теплого ручейка, берущего здесь начало, покрыто белыми и розовато-белыми выпарками сульфатов.

Сольфатара 21 – группа сольфатарных выходов, расположенная вверх по склону на расстоянии 5–6 м к северо-востоку от сольфатары 20. Пар вырывается под большим давлением из отверстий разного диаметра. Температура пара около 98°.

Сольфатара 22 находится на расстоянии 20–25 м к северо-востоку от сольфатары 21. Выходов пара несколько. Они средней мощности. Температура воды 98°. У выходов – отложения серы.

Сольфатары 23 и 24. Сольфатара 23 удалена на 6 м к востоку от сольфатары 22, а расстояние между сольфатарами 23 и 24 5–6 м. Обе сольфатары средней мощности со значительными отложениями серы у выходов. Температура в первой – 97°, во второй – 98°.

Сольфатара 25 расположена в 8 м восточнее сольфатары 24 в котлообразном углублении шириной 3–4 м, длиной 6–8 м и глуби-

Таблица 4

Состав фумарольных газов северо-восточного сольфатарного поля вулкана Эбеко (объемн. %)*

Проба, дата отбора	Т, °С	Без учета H ₂ O				С учетом H ₂ O	
		CO ₂	H ₂	O ₂	N ₂	сумма вулканических газов	H ₂ O
<u>167</u> 19.II 1967	100	97,85	-	0,63	1,79	-	-
<u>167</u> 19.IX 1967	96	78,62	-	7,55	13,84	-	-
<u>167</u> 29.IX 1967	280	45,78	-	15,26	38,97	-	-
<u>169</u> 29.VIII 1969	96	53,08	0,87	10,74	36,29	3,76	96,23
<u>169</u> 1.IX 1969	320	5,78	0,28	19,91	74,03	7,93	92,07

* Аналитики Е.А. Чеглецова и Т.С. Алексеева.

Таблица 5

Состав конденсатов фумарольных газов северо-восточного сольфатарного поля вулкана Эбеко*

Проба, дата отбора	Т, °С	рН	Анионы, мг/л; мг-экв		
			Cl ⁻	F ⁻	S ₂ O ₃ ⁻
<u>167</u> 19.IX 1967	96	1,73	42,5; 1,20	2,6; 0,14	-
<u>167</u> 29.IX 1967	380	0,91	5503; 155,18	400,0; 21,05	-
<u>196</u> 29.VIII 1969	96	1,43	127,7; 3,60	3,0; 0,16	515,8; 4,60
<u>169</u> 1.IX 1969	320	1,17	1943; 54,79	100,0 5,26	-

*Аналитик Л.П. Никитина.

ной порядка 2 м. Мощные парогазовые струи расположены на дне котлована и по его стенкам. Температуру измерить не удалось.

Сольфатара 26 находится на востоке от сольфатары 25, на расстоянии приблизительно 10 м. Пар выходит из отверстия правильной конусовидной формы диаметром 20 см. Температура пара 96°.

Сольфатара 27 — средней мощности парогазовая струя, расположенная вблизи грифона 29. Температура пара 98°.

Сольфатара 28 прослеживается обособленно от рассмотренных ранее сольфатар. Это несколько слабых и две умеренной мощности парогазовых струй, расположенных рядом. Температура пара 95°.

В таблицах 4 и 5 приведен химический состав газов и их конденсатов северо-восточного сольфатарного поля.

Кроме рассмотренных сольфатар, на северо-восточном сольфатарном поле имеется ряд значительных грифонов. Грифон 29 расположен рядом с сольфатарой 27 в чашеобразном углублении диаметром около 5 м. Температура воды в грифоне 97°. Струйки воды выбиваются на высоту 20–30 см. Вода очень кислая и с запахом сероводорода. Грифон является истоком небольшого горячего ручья. Русло ручья, а также во многих местах дно и склоны чашеобразного углубления, в котором находится грифон, покрыты возгонами различных цветов от белого до фишашкового. На небольшом расстоянии от грифона 29 ниже по течению теплого ручья расположен довольно сильный грифон 30 с мутной водой с температурой 96° и дебитом 0,3 л/сек.

Вдоль ручья имеется много грифончиков с температурой 93–94°. На расстоянии 18 м от грифона 29 в него впадает маленький ручеек с температурой при впадении 40°, берущий свое начало из ряда мелких грифончиков, расположенных на расстоянии 3–4 м от сольфатары 20. Еще ниже по ручью расположена целая группа горячих грифонов, из них наиболее крупный грифон 31. Он находится в углублении высотой около 1 м и длиной 2,5 м, и представляет собой

Анионы, мг/л; мг-экв		Катионы, мг/л; мг-экв/л				
SO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺⁺	K ⁺	Cu ⁺⁺	Pb ⁺⁺	Zn ⁺⁺
1998; 49,89	211,8; 4,41	0,75; 0,030	0,50; 0,010	-	0,300; 0,003	2,200; 0,067
521,3; 13,02	10880; 226,5	12,0; 0,522	8,0; 0,205	-	-	-
7612; 190,07	519,5; 10,82	2,4; 0,104	1,3; 0,03	-	0,20; 0,002	3,100; 0,095
1145; 28,59	7106; 147,95	9,8; 0,426	3,1; 0,079	51,0; 1,610	12,0; 0,115	4,800; 0,147

Зурлящий водоемчик с высотой выбрасываемых струй воды на 30-40 см. Глубина грифона 30 см. Максимальная температура воды 38°. Вода очень кислая, мутно-белая, с запахом сероводорода. Ее состав:

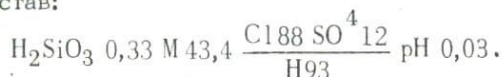


Таблица 6

Химический анализ воды

Анионы	мг/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	мг/л	мг-экв.	% экв.
SO ₄ ⁻	11600,0	241,60	19,20	H ⁺	1000,0	1000,0	79,62
HSO ₄ ⁻	-	-	-	Na ⁺ + K ⁺	600,0	26,1	2,08
Cl ⁻	36100,0	1020,0	80,80	Mg ⁺⁺	66,4	5,40	0,43
HCO ₃ ⁻	-	-	-	Ca ⁺⁺	155,0	7,72	0,62
CO ₃ ⁻	-	-	-	Fe ⁺⁺	290,2	10,35	0,83
F ⁻	Не опр.	-	-	Fe ⁺⁺⁺	57,9	3,12	0,25
Br ⁻	То же	-	-	Al ⁺⁺⁺	828,6	203,2	16,18
I ⁻	"	-	-	NH ₄ ⁺	Не опр.	-	-
Σ анионов	47700,0	1261,60	100,00	Σ катионов	3007,0	1255,89	100,00

Недиссоциированные молекулы, мг/л

H ₂ SiO ₃	HBO ₂	H ₃ AsO ₃
240,0	Не опр.	Не опр.

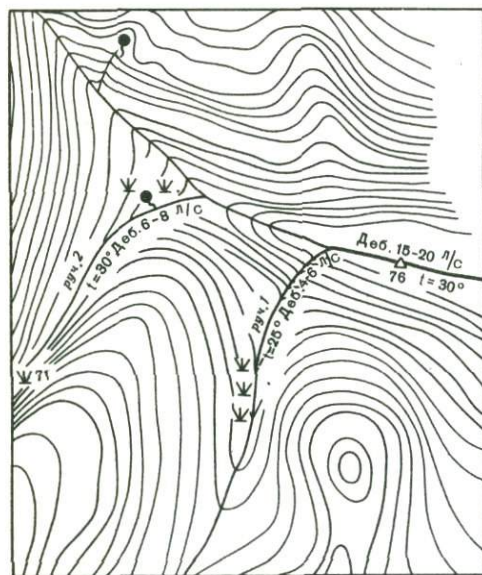
Примечание. Сухой остаток не определялся. Минерализация (г/л)=50,947, pH=0,09. Проба отобрана 5.VI 1959 г. Е.К.Мархининым. Аналитик М.П. Баранова.

Описываемый ручей впадает в этот бурлящий котел, имея температуру 36° , выходит из него с температурой 65° . Температура ручья поддерживается за счет ряда мелких грифончиков, расположенных по всему его течению. На расстоянии 2,5 м от грифона 31 расположен грифон 32 с диаметром около 1 м, глубиной 20 см, температурой воды 91° . Выше по склону на значительном расстоянии от описанных грифонов обнаружен грифон 33 с максимальной температурой воды 95° , являющийся истоком горячего ручья, который у выхода имеет температуру 65° . Берега ручья покрыты белыми, желтыми и оранжевыми возгонами сульфатов.

Судя по рассказам очевидцев, сольфатарная деятельность на северо-восточном сольфатарном поле вулкана Эбеко не только не уменьшилась в последние годы, а наоборот, возможно, несколько активизировалась. Так, Н.Ф. Бредис свидетельствует, что два сильных горячих источника (вероятно, грифоны 29 и 30) возникли здесь в 1956 г.

Гидросольфатары ручья Лагерного и его притоков

Ручей Лагерный, как это видно на рис. 2, собирает в себя снеговые и гермальные воды со всего восточного склона вулкана. Кроме того, его истоки и притоки в верхней части характеризуются разрозненными сольфатарами и гидросольфатарами. Правый исток ручья Лагерного (руч. 2, рис. 9) образован двумя гермальными ручьями (руч. 3 и 4), берущими свое начало на первом и втором восточных сольфатарных полях. Температура этих ручьев несколько ниже 30° . Дебиты соответственно 2–3 и 5–6 л/сек. Температура ручья 2 за



счет отдельных выходов грифонов и паровых струй на всем его течении поддерживается в 30° . В 15 м от слияния ручья 3 с ручьем 4 в правом борту ручья 2 находится крупная сольфатара (71). Пар выходит сильными струями из двух шелевидных отверстий длиной 10–15 см, шириной около 7 см. Температура пара 97° . Ниже в левом борту этого же ручья на обрывистом склоне имеется группа

Рис. 9. План расположения гидросольфатар ручья Лагерного и его притоков.

Составил Е.К. Мархинин.
Май-июнь 1959 г.

Таблица 7

Химический анализ воды ручья Лагерного

Анионы	мг/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	мг/л	мг-экв.	% экв.
SO_4^{--}	401,5	8,36	73,0	H^+	3,1	3,1	24,5
HSO_4^-	-	-	-	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	53,5	2,32	18,4
Cl^-	110,0	3,1	27,0	Mg^{++}	17,0	1,40	11,1
HCO_3^-	-	-	-	Ca^{++}	50,0	2,50	20,0
CO_3^{--}	-	-	-	Fe^{++}	-	-	-
F^-	Не опр.	-	-	Fe^{+++}	34,7	1,86	14,7
Br^-	То же	-	-	Al^{+++}	13,0	1,43	11,30
I^-	"	-	-	NH_4^+	-	-	-
Σ анионов	511,5	11,46	100,00	Σ катионов	171,3	12,61	100,00

Недиссоциированные молекулы, мг/л

H_2SiO_3	HBO_2	H_3AsO_3
91,0	Не опр.	Не опр.

Примечание. Сухой остаток не определялся. Минерализация (г/л)=0,774, pH=2,5. Проба отобрана 15. VI 1959 г. Е. К. Мархининым, Аналитик М. П. Баранова.

небольших сольфатар (72) и горячих источников, из которых местами отлагаются красные гидроокислы железа. Ряд небольших сольфатар и гидросольфатар имеется также по течению самого ручья Лагерного и его притоков - ручьев 1 и 5. За счет этих притоков температура поддерживается в пределах 25-30°. Дебит ручья Лагерного после впадения в него всех термальных притоков составляет 15-20 л/сек (точка 76), состав воды приведен в табл. 7.

Приведенные выше данные о гидротермах вулкана Эбеко основываются на первом систематическом их описании, сделанном в мае-июне 1959 г. Е. К. Мархининым. В последующие годы оно было принято и использовано В. Н. Шиловым, С. С. Сидоровым и многими другими исследователями. Однако следует отметить, что система гидротермальных проявлений вулкана Эбеко чрезвычайно динамична. Возникновение новых сольфатар, горячих источников, термальных котлов и озер и исчезновение старых сольфатар не исключение. Особенно резкие изменения в режиме фумарол на вулкане происходили во время газовых взрывов. Они были отмечены 8 марта 1963 г., когда в пределах первого Восточного поля образовалась очень крупная фумарола Новая диаметром около 4 м.

7 сентября 1963 г. С. С. Сидоровым наблюдалось весьма интересное явление самовозгорания серы в этой фумароле. Вот как он описывает это событие: "При подъеме в Восточный цирк (1-ое восточное поле) в истоках ручья 4 был встречен текущий поток расплавленной серы. На месте взрывной воронки (фумарола Новая) бушевал гигантский костер: горела сера, ранее обильно отлагавшая-

ся по ее стенкам. Столб газов достигал высоты 150–200 м. Нижняя его часть высотой около 20 м представляла собой язык пламени, напоминая скважину с вспыхнувшим фонтаном нефти... По склону стекали небольшие серные потоки с температурой 160–165°C. На поверхности потоков плясали небольшие языки пламени, повсюду струился едкий синий "дым". (Бюлл. вулк. станций № 40, 1966 г., стр. 63).

2 февраля 1964 г. В.Ф. Трубенко обнаружил, что главный выход газов на первом восточном поле (фумарола Новая) переместился на 60 м севернее, а на месте старого выхода находился большой грязевый котел.

С.С. Сидоров отмечает, что отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{--}$ в ряде водопроявлений Эбеко значительно увеличилось к 1963 г., когда нарастающая активность вулкана завершилась газовой эксплозией. Наоборот, по его данным, в газовых струях при общем увеличении содержания HCl^- и SO_2^- , росла концентрация SO_2^- . Дальнейшие изменения в состоянии сольфатарной и гидротермальной деятельности вулкана Эбеко коротко описаны Л.А. Башариной и Г.Г. Храмовой (1971, стр. 44):

"С 1963 г. на вулкане Эбеко отмечаются периодические извержения фреатического характера... В августе 1965 г. отмечено извержение из среднего кратера вулкана Эбеко, которое вызвало понижение уровня существующего в кратере озера; в течение 11 дней ушло из озера более 90% воды. С 22 февраля по 4 апреля 1967 г. происходили извержения из северного кратера, в результате которых находившееся в кратере холодное озеро исчезло, а на его месте образовалась воронка.

После извержений в феврале – апреле 1967 г. вся западная часть оз. Горячего была засыпана пирокластическим материалом. Северо-восточная и восточная части озера сохранились, вероятно, благодаря перемычке между северным и средним кратерами. 22 февраля температура воды в оставшейся части оз. Горячего не превышала 12–18°C. Фумарола на южной стороне озера едва заметно парила, ранее существовавшие там серные конусы с погоками расплавленной серы и интенсивно действующими грифонами не сохранились. Только в северо-восточной части берега, в 4 м от уреза воды продолжал действовать единственный грифон – котел, который наблюдался с 1965 г. В центральной части озера фумарольная деятельность отсутствовала. Фумаролы северо-восточного поля в целом активизировались по сравнению с 1965 г.: появились новые мощные выходы парогазовых струй, поднимавшиеся со скоростью от десятков до сотен метров в секунду. С сентября по октябрь 1966 г. отмечено повышение температуры фумарольных газов северо-восточного поля от 96–98 до 115–135°C. Значительно усилилась деятельность фумаролы Гремучей (Новой), температура ее была самой высокой, интенсивно выделялись газы с максимальной для вулкана Эбеко концентрацией HCl и газов серы (SO_2 , SO_3). Вокруг фумаролы возникли серные конусы с потоками плавной серы. Фумаролы среднего и верхнего кратеров особых изменений не претерпели, температура газа оставалась в пределах 95–105°C.

ВЕРХНЕЮРЬЕВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники расположены в 2,5 км северо-западнее нижнего (северного) кратера центрального конуса вулкана Эбеко, в верховьях ручья Юрьева (рис. 10) и приурочены к разрушенной доледниковой постройке вулкана Влодавца. Эти источники впервые были обследованы в 1952 г. Г.М. Власовым, затем В.В. Ивановым (1957) и К.К. Зеленовым (1959, 1960). Наиболее подробно они описаны С.С. Сидоровым в 1960 г. Ниже приводится их описание по С.С. Сидорову.

Абсолютная отметка выходов вод 500 м. Общая протяженность участка около 700 м. Первые выходы вод отмечаются в двух распадах, являющихся истоками реки Юрьева.

Правый распадок берег начало у вершины с отметкой 1019 м. Левый распадок — глубокий овраг в очень кругом склоне г. Зеленой. В его верховьях расположена единственная на участке группа фумарол. Выходы парогазовых струй приурочены к останцу лав, между двумя холодными ручейками, питающимися за счет таяния снежников г. Зеленой. Ниже, у слияния этих ручейков, находится самый высокотемпературный источник всей группы — источник 1.

Источник 1 расположен в приустьевой части холодного ручья. Вода с температурой 92–94°C выходит из трещин в гидрогермально измененных породах с налетами ярко-желтой серы. Дебит источника 7–9 л/сек. Дебит ручья перед источником 0,3 л/сек. Из воды очень редко выделяются пузырьки газа. В 20–25 м ниже по течению отмеченный ручей сливается с другим ручьем. Температура воды в месте слияния 47°C.

Источник 2 размещается в 35–40 м от слияния холодных ручьев (на 6–7 м по вертикали ниже источника 1). Выход представляет собой пещерообразное углубление (длиной до 1 м), откуда вытека-

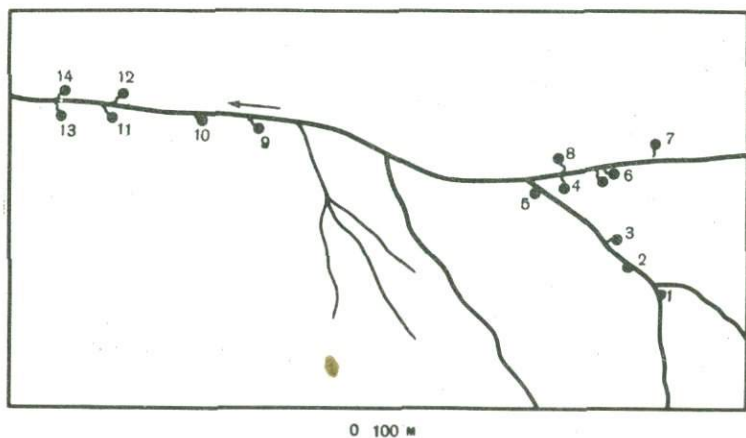


Рис. 10. Верхнеюрьевские источники. План.
Составил С.С. Сидоров, 1960 г.

ет прозрачная вода с температурой 78,5°C, pH около 1. Газ не выделяется. Дебит источника 2–3 л/сек.

Источник 3 отмечен в 30 м от источника 2 (на 7–8 м ниже его по вертикали), в правом боргу ручья, на высоте 1,5 м от уреза воды. Температура воды 62–76°C, pH около 1. У выхода наетки серы, налеты белых, зеленовато-белых и желтовато-зеленых едких-кислых на вкус солей. Дебит источника 0,7 л/сек.

Источник 4 расположен несколько ниже по течению ручья. Это термальный ручеек с температурой воды 45,5°, pH = 1. В местах, где термальная вода растекается по склону, обнаружены пестрые налеты солей. Дебит источника 1,3 л/сек.

Источник 5 встречен на левом боргу р.Юрьева, в 20 м ниже впадения в нее ручья. Многочисленные мелкие выходы воды из дельювия, сливаясь вместе, дают начало ручейку с дебитом 6 л/сек и температурой воды 62–67°C. Около выхода – пестрые налеты солей.

Источник 6 обнаружен примерно в 120 м выше по течению реки от источника 5. Здесь в левом боргу реки имеется два мощных выхода воды с температурой 47,5°C и pH = 1. Первый выход воды находится в котлообразном углублении диаметром 5 м на уровне воды в реке, примерно в 7 м от нее. Через борг котловины высотой 1,5 м просачивается термальная вода, оставляя на породах обильные выцветы белых, желтых и зеленовато-желтых солей. Источник образует ручей с дебитом 10–15 л/сек, который течет некоторое время параллельно руслу реки. Несколько ниже он сливается с ручьем, дренирующим второй выход. Суммарный их дебит 25–30 л/сек.

Источник 7 находится в 60 м выше по течению от источника 6. Здесь, в правом боргу реки, на высоте 7–8 м под урезом воды несколько выходов прозрачной, кислой на вкус воды с температурой 10°C, pH = 3. Один из выходов подпрудживает трехметровая глыба. На дне образовавшегося водоема (диаметром 1 м) виден серовато-белесый налет (сульфурит).

Источник 8 расположен примерно в 125 м ниже по течению реки от источника 7, в ее правом боргу. В 3 м выше уреза воды в реке выходит вода с температурой 27°C и pH = 1. Около выхода воды налет солей. Дебит источника незначительный.

Источник 9 размещается в левом боргу р.Юрьева. На уровне воды в реке из пирокластических отложений вытекает крупный ручей (дебит – 1 – несколько десятков л/сек) с температурой воды 82°C и pH = 0.

Источник 10 обнаружен в 60–70 м ниже по течению реки от источника 9 в левом боргу р.Юрьева. На уровне воды в реке из пирокластических отложений выходит вода с температурой 80°C и pH = 0.

Источник 11 встречен в левом боргу р.Юрьева в 100–120 м ниже источника 10. Вода вытекает из пирокластических отложений. Около выхода – обильные осадки сульфурита. Дебит источника 3 л/сек.

Na ⁺	286,6	12,46	7,05	351,0	15,27	4,10	278,0	12,09	3,6
K ⁺	267,9	6,90	3,87	230,0	5,89	1,6	248,0	6,39	2,0
NH ₄ ⁺	60,0	3,34	1,87	-	-	-	90,0	1,11	0,3
Ca ⁺⁺	344,4	17,20	9,66	463,2	23,11	6,2	403,8	20,15	6,0
Mg ⁺⁺	226,6	18,64	10,45	210,0	17,26	4,6	196,0	16,11	4,8
Fe ⁺⁺	774,2	27,65	15,53	460,9	16,27	4,4	526,3	18,57	5,5
Fe ⁺⁺⁺	417,0	22,30	12,53	1,5	0,08	-	Не обн.	-	-
Al ⁺⁺⁺	608,4	67,68	38,02	994,2	110,06	29,5	989,1	109,49	32,3
Mn ⁺⁺	20,0	0,79	0,44	-	-	-	10,5	0,38	-
H ⁺	-	-	-	185,0	185,0	49,6	153,46	153,46	46,5
Σ катионов	3014,0	178,0	100,0	2895,8	372,94	100,0	2825,16	337,75	100,0
Cl ⁻	74,1	2,09	1,22	4042,0	113,98	30,2	3219,8	90,80	26,9
I ⁻	Не обн.	-	-	0,4	-	-	Не обн.	-	-
Br ⁻	0,5	-	-	2,9	0,04	-	3,1	0,04	-
F ⁻	52,0	2,70	1,48	79,9	0,20	1,1	-	-	-
SO ₄ ⁻⁻	8413,4	175,28	97,30	12482,0	259,66	66,7	11860,7	246,70	73,1
HPO ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
HAsO ₄ ⁻	0,6	-	-	13,4	0,19	-	10,6	0,15	-
Σ анионов	8540,0	180,07	100,0	16620,6	378,07	100,0	15094,4	337,69	100,0
HVO ₂	Много	-	-	9,0	-	-	60,0	-	-
H ₂ SiO ₃	317,0	-	-	393,0	-	-	433,0	-	-
Минерализация	17649,8	-	-	19918,5	-	-	18412,46	-	-

Таблица 8 (окончание)

Компоненты	Устье р.Юрьева. Автор обследования В.Н.Шидов и др., Б.Х 1960 г. (1961 г.); аналитик Т.Г.Маргова; T(°C)=20; pH = 1,36			Устье р.Юрьева. Автор обследования В.Н.Шидов и др., 1961 г.; аналитик Р.И.Евсеева (1961 или 1962 гг.); T(°C)=22; pH=1,38		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	96,0	4,18	3,1	90,0	3,91	2,6
K ⁺	77,0	1,97	1,4	126,0	3,23	2,2
NH ₄ ⁺	-	-	-	0,1	0,01	-
Ca ⁺⁺	181,5	9,56	7,0	200,0	9,98	6,7
Mg ⁺⁺	83,6	6,86	5,0	83,5	6,86	4,6
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	40,3	1,42	1,0
Fe ⁺⁺⁺	200,0	10,74	7,9	182,6	9,81	6,6
Al ⁺⁺⁺	441,2	48,84	35,6	450,9	49,91	33,6
Mn ⁺⁺	-	-	-	4,1	0,15	0,1
H ⁺	54,7	54,7	40,0	63,21	63,21	42,6
Σ катионов	1143,9	137,95	100,00	1146,71	148,49	100,0
Cl ⁻	1701,0	47,97	34,9	1312,0	37,0	26,3
I ⁻	0,1	-	-	Не обн.	-	-
Br ⁻	0,2	-	-	2,6	0,03	-
F ⁻	2,0	0,10	-	-	-	-
SO ₄ ⁻⁻	4253,0	88,46	65,1	4977,9	103,54	73,7
HPO ₄ ⁻⁻	-	-	-	-	-	-
НAsO ₄ ⁻⁻	3,4	0,05	-	Сл.	-	-
Σ анионов	5959,7	136,58	100,0	6292,5	140,57	100,0
HVO ₂	6,0	-	-	50,0	-	-
H ₂ SiO ₃	162,0	-	-	19,6	-	-
Минерализация	7271,6	-	-	7605,61	-	-

Верхнеюрьевские источники, Фу- марола, (Шил- ов и др., 1961)	30, VIII 1960	98	-	41,04	0,05	0,08	0,13	-
Верхнеюрьевские источники, Фу- марола, (Шил- ов и др., 1962)	31, VIII 1961	96	-	71,44	-	0,12	0,82	-

* Аналитик Л.Г. Воронова.

Таблица 9 (окончание)

Место отбора пробы	Дата от- бора про- бы	Темпе- ратура, °С	H ₂	N ₂ ⁺ редкие	O ₂	H ₂ O	Соотноше- ние водяной пар газ
Верхнеюрьевские источники, Фу- марола, (Шил- ов и др., 1961)	30, VIII 1960	98	-	48,0	10,70	19,166	$\frac{97,2}{2,8}$
Верхнеюрьевские источники, Фу- марола, (Шил- ов и др., 1962)	31, VIII 1961	96	-	21,20	7,36	7,36	$\frac{93,4}{6,8}$

Источник 12 расположен в правом борту р.Юрьева, против источника 11. Здесь имеется два выхода термальной воды. Первый из них приурочен к невысокой эрозионной террасе, сложенной пирокластическими отложениями. Температура его воды 60°C, pH=0, дебит незначительный. Второй выход находится в основании склона, у гылового шва террасы. Температура его воды 67°C, pH=0, дебит 5-8 л/сек.

Источник 13 находится примерно в 50 м ниже источника 11, в левом борту реки. Температура воды 41°C, pH=1.

Источник 14 отмечен на правом берегу реки, напротив источника 13. В 4 м над уровнем воды в реке вытекает теплая вода (температура 26°C, pH=1). Около выхода выцветы солей. Дебит источника 5-7 л/сек.

Река Юрьева ниже источников несет свои прозрачные изумрудно-зеленые воды в Охотское море, образуя по пути ряд живописных водопадов. Длина реки около 3 км, расход в устье 1,8 м³/сек.

Таблица 10

Химический состав конденсата фумарольных газов Верхнеюрьевского термального поля

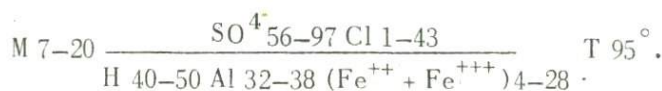
Компоненты	Автор обследования В.Н.Шилов и др., (1960г. (1961гг.); аналитик Л.Г.Воронова; pH - отрицательный			Компоненты	Автор обследования В.Н.Шилов и др., (1960г. (1961гг.); аналитик Л.Г.Воронова; pH - отрицательный		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	3,9	0,17	1,8	Br ⁻	-	-	-
K ⁺	3,1	0,08	0,9	F ⁻	2,0	0,11	0,9
NH ₄ ⁺	0,1	-	-	SO ₄ ²⁻	82,3	1,71	14,7
Ca ⁺⁺	97,0	4,84	53,0	SO ₃ ²⁻	100,0	2,50	21,5
Mg ⁺⁺	24,1	1,98	21,7	S ₂ O ₃ ²⁻	252,3	4,49	38,7
Fe ⁺⁺	0,5	0,02	0,2	CO ₃ ²⁻	Не обн.	-	-
Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	HCO ₃ ⁻	То же	-	-
Al ⁺⁺⁺	7,6	0,84	9,2	HPO ₄ ²⁻	"	-	-
Mn ⁺⁺	Не обн.	-	-	Σ анионов	535,3	11,62	100,0
H ⁺	1,2	1,20	13,2	HBO ₂	-	-	-
Σ катионов	137,5	9,13	100,0	H ₂ SiO ₃	10,3	-	-
Cl ⁻	99,7	2,81	24,2	Минерализация	687,2	-	-
I ⁻	-	-	-	H ₂ S	4,1	-	-

Воды Верхнеюрьевских источников относятся к минерализованным, сильно кислым (pH=0,5 - 1,5), хлоридно-сульфатным алюминиево-водородным (табл. 8).

В воде отмечается, как правило, высокое содержание железа (1191 мг/л), марганца (20 мг/л), аммония (60 мг/л), фтора (80 мг/л), мышьяковистой кислоты (13,4 мг/л), метаборной кислоты (60,0 мг/л) и кремнекислоты (393 мг/л).

Кроме того, обнаружены титан, медь, никель и кобальт. Состав газа (табл. 8).

Формула Курлова



Газ фумарол-сернисто-хлоридно-азотно-углекислый или сернисто-хлоридно-углекисло-азотный (табл. 9). Следует указать на значительное количество хлористого водорода (до 0,83%) и сернистого газа (0,12%). Состав термальных вод, как и источников вулкана Эбеко, очень близок составу конденсатов фумарольных газов. Примечательно, что в конденсате содержится значительное количество H⁺, Al⁺⁺⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ и HBO₂ (табл. 10). Спектральным анализом сухих остатков в воде обнаружены Mn, V, Ba, Pb и другие элементы.

нения о гидротермальной деятельности вулкана имеются у Власова и др. (1953 г.), Г.М. Власова (1959 г.), Г.С. Горшко-1967), В.Г. Краснова, Г.Н. Тузикова и др. (1968 г.).

Вулкан Вернадского и рядом расположенный вулкан Билибина сложены андезитами, сильно измененными фумарольной и гидротермальной деятельностью.

Кратер Вернадского представляет собой конус, ограниченный с юга и запада уступами лав межледникового возраста. Диаметр его около 1 км, высота приблизительно 150 м. К востоку от основания конуса лежит небольшой лавовый поток андезитового состава, который затем поворачивает под прямым углом к югу, спускаясь на юго-запад по троговой долине левого истока р. Заозерной.

На вершине конуса сохранились остатки мелкого кратера диаметром около 400 м. Над северо-западной частью кратера в виде обвала возвышается остаток экструзивного купола. Северо-западная часть конуса сложена агломеративной мантией этого купола, образовавшегося на заключительной стадии формирования конуса. В результате этого конус несколько вытянут в широтном направлении.

Источники расположены в верховьях правого притока р. Заозерной, 8 км на восток-юго-восток от вершины вулкана Вернадского (высота 184 м) (рис. 11).

На восточном склоне вулкана Вернадского наблюдаются холодные водородные струи. Вода некоторых холодных источников, расположенных здесь же, имеет кислый вкус.

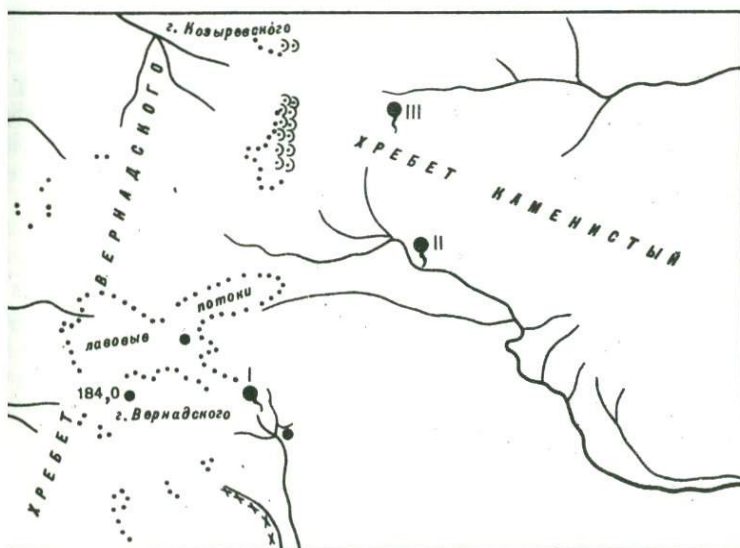


Рис. 11. Обзорная схема расположения источников вулкана Вернадского (I), Левашовского (II) и Северянского (III)

Работами Сахалинского геологического управления в 1967 г. обнаружено потухшее сольфатарное поле в левом борту верховья р. Заозерной, имеющее размеры порядка 30 × 100 м. Скопления серы приурочены к устьям отмерших сольфатар.

Севернее наблюдается ряд сольфатар, близко расположенных одна от другой.

СЕВЕРЯНСКИЙ ИСТОЧНИК

Источник находится на правом берегу р. Северянки, в самых ее истоках, вблизи русла реки (рис. 11). Его описание в 1954 г. было сделано Г.М. Власовым и В.В. Бочкаревым, а в 1966 г. — В.Е. Бевзом, И.Г. Смирновым.

Теплая вода вытекает из осыпи крупных обломков серых измененных вулканических пород. Дебит незначительный. Выход воды пульсирующий. Температура воды от 8 до 30°С, она прозрачная, почти бесцветная, с сильным запахом H₂S. У истока и в русле ключа — налеты бледно-желтой скрытокристаллической серы. Ниже выходов минеральных вод на берегу реки находятся небольшие бугры, сложенные лимонитом, отложившимся из вод источников, прекративших свою деятельность.

Таблица 11

Состав воды Северянского источника

Компоненты	Авторы обследования Г.М. Власов и В.В. Бочкарев (1954 г.); Т (°С) = 30			Компоненты	Авторы обследования Г.М. Власов и В.В. Бочкарев (1954 г.); Т (°С) = 30		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ + K ⁺	110,4	4,70	41,0	Br ⁻	Не обн.	-	-
NH ₄ ⁺	Сл.	-	-	SO ₄ ²⁻	424,67	8,83	75,4
Ca ⁺⁺	97,0	4,84	41,4	Σ анионов	526,6	11,70	100
Mg ⁺⁺	25,11	2,06	17,6	H ₂ SiO ₃	454	-	-
Fe ⁺⁺⁺	2,0	0,11	-	R ₂ O ₃	108	-	-
Σ катионов	234,5	11,71	100	Минерализация	1323,1	-	-
Cl ⁻	101,89	2,87	24,6	H ₂ S	Сильный запах	-	-
I ⁻	Не обн.	-	-				

Химический состав воды приведен в табл. 11. Воды источника относятся к сероводородным, хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым. Характерно резкое повышение содержания кремнекислоты и полуторных окислов.

ЛЕВАШЕВСКИЙ ИСТОЧНИК

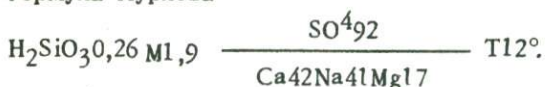
Источник находится на кругом пологом склоне хр. Каменистого, на левом берегу р. Левашова, в ее верховьях (рис. 11).

Краткие сведения о нем получены у Г.М. Власова и В.В. Бочкарева, а также у В.Е. Бевза.

Источник выходит на расстоянии 0,5 км от русла реки, на участке, сложенном каолинито-опаловыми породами. Вода в нем холодная (10–12°С), без вкуса, с сильным запахом сероводорода.

Воды источника сероводородные, сульфатные, натриево-кальциевые с повышенным содержанием кремнекислоты.

Формула Курлова



ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА ЧИКУРАЧКИ

Сведения о гидротермальной деятельности вулкана приведены по В.И. Федорченко, В.Н. Шилову, Л.Г. Вороновой, С.С. Сидорову, В.Е. Бевзу, И.Г. Смирнову.

Вулкан расположен на северном окончании хр. Карпинского на о. Парамушир. Издали, с севера или северо-востока, он кажется правильным изолированным конусом, поднимающимся прямо на высоту 1815 м от ур. м. По абсолютной высоте Чикурачки – самый высокий вулкан на Парамушире и третий по высоте вулкан на Курилах. Однако в действительности современный конус Чикурачки расположен на остатках высокого плейстоценового вулкана, и относительная высота конуса всего лишь 250–300 м.

Кратер вулкана Чикурачки имеет диаметр около 450 м и глубину до 200 м. В стенках кратера обнажаются плотные серые лавы, разделенные слоями вишнево-красных шлаков. Шлаки покрывают всю поверхность конуса и спускаются к подножию древней постройки.

Юго-восточная часть гребня разрушена почти до самого дна кратера.

В 1959 г. В.Н. Шиловым и Л.Г. Вороновой отмечено, что интенсивная сульфатарная деятельность проявляется только в северо-западной бокке, и особенно в ее северо-восточной части, где все стенки покрыты обильными налетами самородной серы.

В северной бокке сульфатары отсутствуют, несколько слабых выходов газа обнаружено по восточному краю северной бокки. Из-за крутизны стенок северо-западной бокки и вследствие заполненности ее удушливым газом с отчетливым сероводородным запахом пробу вулканического газа отобрать здесь не удалось. В пробе газа, взятой из восточного края северной бокки (температура 86°С), удалось обнаружить, помимо азота и кислорода (примесь воздуха), лишь углекислоту (13,6%).

После извержения в сентября 1961 г. из северо-западной бокки выделялся очень густой удушливый белый дым. Внутренние стенки бокки были почти обрывисты, диаметр ее составлял 50–70 м. Заглянуть внутрь бокки мешал едкий дым. Из глубины бокки слышались звуки, напоминающие журчание текущей воды. Иногда оттуда доносилось бульканье, очень напоминающее интенсивное выделение газов в грязевых котлах. Когда выделение дыма ослабело, ста-

ла видна крутая противоположная стенка бокки, покрытая красновато-бурым налетом.

Имеются сведения об извержении Чикурачки в феврале 1964 г. По данным В.Ф. Трубенко, 1 февраля вечером на вулкане произошел взрыв, выбросивший на высоту до 4 км черное грибообразное облако. В последующие дни можно было наблюдать по склонам вулкана грязевые потоки. Изменения, происшедшие в кратере в результате этого извержения, описываются ниже.

При обследовании вулкана в 1968 г. В.Е. Бевз, И.Г. Смирнов и др. отметили, что в обрыве кратера обнажается стратифицированная толща лав и агломератов. В северной части кратерной котловины имеется колодец, образовавшийся, очевидно, при последних извержениях вулкана (предположительно в 1964 г.). Глубина его 40–50 м от дна кратерной котловины. На его обрывистых стенах обнажаются грубо- и мелкообломочные агломераты, чередующиеся с невыдержанными горизонтами лав. На дне – небольшой водоем (несколько метров в диаметре) с зеленовато-желтой водой. Судя по многочисленным, хотя и слабым паровыделениям на стенках и дне колодца, вода в озерах горячая и сильно минерализованная. В местах выхода струй отмечаются обеление пород и отложение порошкообразной серы.

ИСТОЧНИКИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОДНОЖИЯ ВУЛКАНА ЧИКУРАЧКИ

Источники расположены вблизи истоков р. Тайны, у тропы Шелехово-Подгорное. Наиболее крупный выход термальных вод (табл. 12) расположен в промоине глубиной порядка 2 м. Разгрузка пластовая, нисходящая почти сплошным фронтом из пролювиальных отложений, представленных шлаками с обломками лав, при этом образуется ручей дебитом в несколько десятков литров в секунду. Температура воды в месте выхода порядка 40°C. На путях стока развиты термо-

Таблица 12

Химический состав воды источников р. Тайны

Анионы	мг/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	мг/л	мг-экв.	% экв.
Cl ⁻	57,0	1,6	12,2	Na ⁺ + K ⁺	81	3,53	27,0
SO ₄ ²⁻	367,0	7,64	58,4	NH ₄ ⁺	7,5	0,42	3,2
HCO ₃ ⁻	235,9	3,65	29,4	Ca ⁺⁺	70,0	3,47	26,5
Σ анионов	541,5	13,03	100,00	Mg ⁺⁺	69,0	5,64	43,1
				Fe ⁺⁺	0,8	0,03	0,2
				Fe ⁺⁺	-	-	-
				Σ катионов	228,3	13,09	100,0

Примечание. Авторы обследования В.Е. Бевз, И.Г. Смирнов и др. (1969). Дата взятия пробы 9.X 1968 г.

фильные водоросли, отлагаются гидроокислы железа. Вода кислая на вкус, слабо мутная. Осадок через несколько дней небольшой, оранжево-желтый.

Помимо описанного пластового выхода, по свидетельству И.Г. Смирнова, вдоль подножья имеются отдельные одиночные выходы термальных вод.

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА ТАТАРИНОВА

Описание гидротермальной деятельности вулкана дается в работах Г.С. Горшкова (1954, 1957, 1958), Г.В. Корсунской (1958), Г.М. Власова (1959 г.), Л.Г. Вороновой, С.С. Сидорова, Л.В. Суринной (1966), В.Е. Бевза, И.Г. Смирнова и др. (1969 г.). В приводимом ниже описании в значительной мере использованы материалы Л.Г. Вороновой и С.С. Сидорова.

Для вулкана характерна активная сольфатарная деятельность. Два сольфатарных поля расположены на внешнем его склоне, на высоте 100 м над ур. м., одно – в пределах третьего кратера.

В сентябре 1960 г. никаких признаков активности на последнем поле не наблюдалось. Полуразрушенные серные бугры и обилие жильных отложений серы свидетельствуют о широком развитии здесь сольфатарных процессов в прошлом. В 1953 г. Г.С. Горшков (1954) наблюдал в третьем кратере слабые затухающие сольфатары, которые, по данным В.Н. Шилова и Л.Г. Вороновой (1962), к 1959 г. полностью прекратили свою деятельность.

Из двух активных в 1960 г. сольфатарных полей, расположенных на внешнем склоне вулкана (рис. 12), более мощное – северо-восточное поле как по занимаемой площади, так и по интенсивности сольфатарной деятельности. Многочисленные сольфатары расположены здесь на дне и по бортам промоин глубиной до 20–30 м. Образование промоин связано с поверхностными водами, эффективности денудационного воздействия которых способствует изменение пород в результате фумарольных процессов. Наиболее высокое положение в источках промоин занимают мелкие парогазовые струи

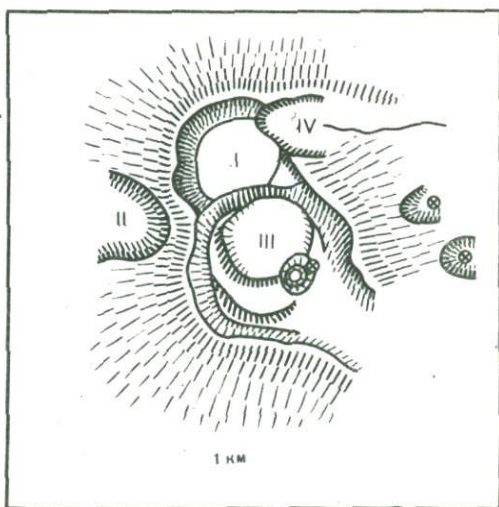


Рис. 12. Схема вулкана Татаринова (Горшков, 1957)

I–IV – кратеры вулкана

с температурой пара 94–95°C, выводящие отверстия которых инкрустированы игольчатыми кристаллами серы. Значительно ниже расположены мощные сольфатары с температурой пара на выходе до 100°C, образующие серные бугры высотой до 1,5 м.

Здесь же, на дне одной из промоин расположена самая мощная сольфатара вулкана Татаринова, представляющая собой лещерообразное отверстие диаметром около 2 м, откуда с шумом вырываются плотные клубы пара, хорошо заметные издали.

На более низких гипсометрических отметках в основании сольфатарного поля в бортах промоин разгружаются грунтовые воды с температурой до 56°C (дебиты незначительные), отлагающие у выхода гидрокислы железа и местами сульфурит.

Наиболее низкое гипсометрическое положение занимают слабые парогазовые струи, не образующие отложений серы на выходе.

Второе действующее сольфатарное поле приурочено к довольно широкому (200–250 м) понижению в восточном склоне вулкана, осложненном рядом промоин глубиной до 10–15 м. Четко выделяется пять обособленных площадок, в пределах которых породы изменены в пестрые глины.

Две из них (диаметром 50–60 м) четко видны издали. Действующих фумарол здесь нет, однако хорошо сохранившиеся серные холмы, запах H_2S из выходящих отверстий ныне потухших сольфатар свидетельствуют о широком развитии сольфатарных процессов в недалеком прошлом.

Три другие площадки измененных пород находятся на дне промоин, расположенных почти параллельно. В средней промоине действующих сольфатар не наблюдается и нет следов их деятельности, для двух крайних – характерна сольфатарная деятельность. В крайней западной промоине расположено множество слабых парогазовых струй с незначительными отложениями серы у выходящих отверстий и температурой пара 93–95°C. Общий диаметр площадки измененных в результате сольфатарных процессов пород не превышает 10–15 м.

Сольфатары крайней восточной промоины значительно более мощные, с температурой пара на выходе 96–99°C; расположены они на дне промоины в основании уступа высотой около 5 м. Талые воды снежника, лежащего в основании уступа, образуют ручей, который залил расположенную непосредственно у основания уступа наиболее мощную сольфатару в данной группе, в результате чего возник бурлящий водоем диаметром 15–20 м с белесовато-мутной кислой водой.

Парогазовая струя выбрасывает воду и обломки породы на высоту до 1 м.

Температура воды у края водоема 90°C.

Вода в ручье, дренирующем водоем, имеет температуру 72°C, белесовато-мутная с запахом H_2S ; в русле – белые и желтовато-белые налеты серы. Несколько ниже по течению ручья, на дне промоины, можно видеть еще ряд лужиц мутной воды с темно-серой пеной по поверхности,

Таблица 13

Состав сольфатарных газов вулкана Татаринова*

Место отбора пробы	Автор обследования	Дата отбора	Т, °С	Компоненты, объемные %		
				HCl	H ₂ S	SO ₂
Восточный склон вулкана II сольфатарное поле	Л.Г. Воронова, С.С. Сидоров (1966 г.)	26.IX 1960 г.	104	0,43	0,03	0,98
				0,46	0,03	0,95

Таблица 13 (окончание)

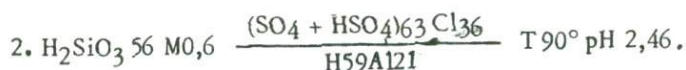
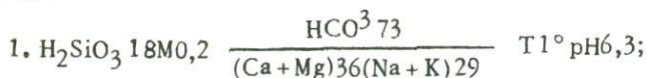
Место отбора пробы	Автор обследования	Дата отбора	Т, °С	Компоненты, объемные %		
				CO ₂	O ₂	N ₂
Восточный склон вулкана II сольфатарное поле	Л.Г. Воронова, С.С. Сидоров (1966 г.)	26.IX 1960 г.	104	90,63	1,53	6,50
				98,56		

Примечание. После вычета воздуха и водяного пара.

* Аналитик Л.Г. Воронова.

"кипящих" от выходов пузырей газа и имеющих температуру воды до 92°С.

Химический состав парогазовых струй и термальных вод вулкана Татаринова (табл. 13, 14) близок к таковым вулкана Карпинского. Ниже приводится пример метаморфизма талых вод снежника, которые заливают крупную сольфатару, расположенную на восточном склоне:



Как видно из примера, холодная, слабокислая гидрокарбонатная вода (1) в результате насыщения ее сольфатарными газами метаморфизовалась в совершенно иной тип воды: сульфатно-хлоридный с ведущей ролью в составе катионной части ионов водорода (2). В три раза увеличилась общая минерализация воды и содержание кремнекислоты, резко повысилась температура, значительно уменьшилось pH вследствие присутствия свободной серной и соляной кислот, которые вытеснили углекислоту.

Углекислота, образующаяся в результате разрушения гидрокарбонатов сильными кислотами, в некоторых случаях, по-видимому, играет немалую роль в составе свободно выделяющихся газов термальных вод.

Таблица I4

Химический состав термальных вод вулкана Татарина

Компоненты	Сольфатное поле					
	Восточное. Авторы обследования Л.Г.Воронова, С.С. Сидоров (1966 г.). Дата отбора пробы 26.IX 1960 г.; аналитик Н.М. Брагина; T (°C)=90; pH=2,46			Северо-восточное. Авторы обследования Л.Г.Воронова, С.С. Сидоров (1966 г.). Дата отбора пробы 26.IX 1960 г.; аналитик Р.И. Евсеева; T(°C)=56; pH=2,33		
	мг/л	мг-экв	% экв.	мг/л	мг-экв	% экв.
H ⁺	6,7	6,69	58,6	3,97	3,94	11,85
Na ⁺	2,7	0,12	1,05	12,2	0,53	1,59
K ⁺	1,0	0,03	0,26	10,5	0,27	0,81
Mg ⁺⁺	10,1	0,83	7,28	23,0	1,89	5,69
Ca ⁺⁺	15,7	0,78	6,84	30,8	15,37	46,25
Fe ⁺⁺⁺	15,6	0,56	4,91	92,0	4,72	14,20
Al ⁺⁺⁺	21,6	2,40	21,03	58,6	6,52	19,61
Σ катионов	73,4	11,41	100,00	506,3	33,2	100,0
F ⁻	2,0	0,10	0,94	2,5	0,13	4,1
Cl ⁻	138,0	3,89	36,42	109,0	3,07	9,61
Br ⁻	0,1	-	-	0,2	-	-
SO ₄ ⁻	300,7	6,26	58,61	1347,7	28,06	87,88
HSO ₄ ⁻	41,3	0,4	4,03	64,4	0,67	2,10
Σ анионов	482,1	10,61	100,00	1523,8	31,93	100,00
H ₂ SiO ₃	56	-	-	298	-	-
HBO ₂	2	-	-	0,2	-	-
Минерализация	613,5	-	-	2328,3	-	-
Сухой остаток	467	-	-	2428	-	-

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА ФУССА

Вулкан Фусса – единственный одиночный стратовулкан на о.Парамушир. Низменным перешейком он соединен с предгорьями хр. Карпинского. Вулкан поднимается со дна Охотского моря, и его действительная высота составляет около 2800 м. Подводная терраса в районе вулкана отсутствует. Отсутствие 130-метровой подводной террасы говорит о современном возрасте всей постройки.

На вершине расположен кратер, представляющий собой очень крутую воронку диаметром до 700 м и максимальной глубиной около 220 м. Северо-западный край кратера расчленен почти до самого основания глубоким ущельем. Эта эрозионно-вулканическая депрессия тянется, прорезая склон, до берега Охотского моря.

Южный край гребня соммы имеет наибольшую абсолютную высоту 1772 м (пик Фусса).

На дне, в юго-восточной части кратера имеется колодеобразное углубление – место последнего извержения вулкана (рис. 13). Этот

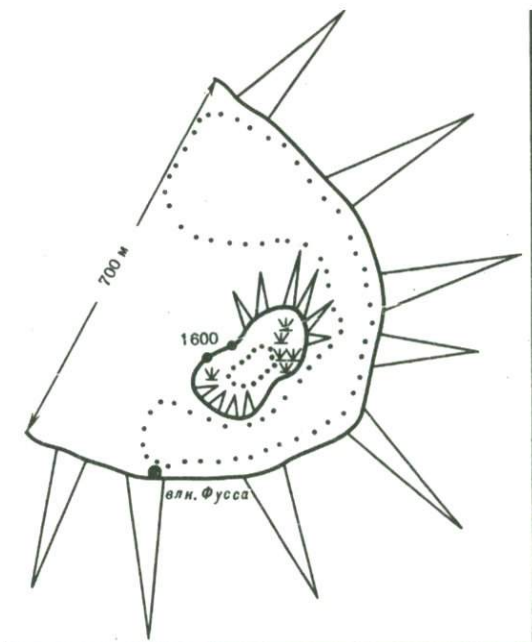


Рис. 13. Схема строения вершинной части вулкана Фусса

Точечный пунктир — контуры многолетних снежников

вер имеет форму вытянутого в широтном направлении с осью 200 м. Глубина его около 100 м (полная неизвестна, так как на дне его снежник). Однако у южного края, так, где снежник подтаял под действием солнца, что мощность снежника не превышает 20 м. В основании пологая перемычка (высотой до 50 м) у северного края, заваленная глыбами эффузивов, все другие стены — брызжистые, сложены лавами, а в верхней части восточной стороны видны слоистые туфы.

Гребень молодого кратера на 50–60 м возвышается над южной стенкой кратера. Южная стенка молодого кратера переходит во внутренние склоны гребня соммы. Понижение между гребнем и соммой заполнено снежником и глыбовыми овалами. Было только одно довольно сильное извержение — в июле

по наблюдениям И.Г. Смирнова, Г.Н. Рогатнева в 1969 г., в кратере действовало несколько fumarol и ощущался запах серы. В fumarol отлагается желтая кристаллическая сера. Существует также термальная площадка (10 × 15 м) с несколькими мелкими горячими струями пара. Поверхность термальной

площадки покрыта разноцветными корочками выцветов, в том числе порошокатой серой, белыми квасцами. Здесь же наблюдаются белые и синие гидротермальные глины с мелкозернистым мельниковитом.

Свидетельством ранее протекавшей фумарольной деятельности служат сольфатарно-измененные породы, наблюдающиеся в кратере, которые иногда сопровождаются мелкими скоплениями серы в устьях ныне отмерших фумарол. Описания гидросольфатар вулкана Фусса приводятся по И.Г. Смирнову.

Сольфатарное поле вулкана Фусса

Гнездо наиболее активных сольфатар, отлагающих игольчатые кристаллы ярко-желтой серы, находится у юго-восточной стенки кратера (рис. 13). Снежник здесь подтаял. Здесь же наблюдается термальная площадка размером 10×15 м, в пределах которой имеется множество мелких струй, так что поверхность площадки теплая, а на глубине температура быстро повышается. Газовые струи горячие — рука, поднесенная к устью, не выдерживает температуры пара.

Поверхность термальной площадки покрыта разноцветными корочками выцветов, порошокатой серой и белыми квасцами. Здесь также наблюдаются белые и синие гидротермальные глины с мелкодисперсным мельниковитом.

Несколько фумарол действуют прямо на стенке кратера, метрах в 50 выше термальной площадки. Эти фумаролы насажены на трещины в андезитах. Устье самой крупной из них имеет размер 20×30 см, из нее идет белый пар, оно обросло желтыми кристалликами серы.

Выделения пара обнаружены в нескольких местах на гребне кратера, однако никаких возгонов в местах выхода пара здесь не наблюдалось.

И, наконец, есть отверстия, из которых пар не выделяется, но, если поднести руку, чувствуется тепло. Свидетельством ранее протекающей фумарольной деятельности служат сольфатарно-измененные породы, наблюдающиеся в кратере, которые иногда сопровождаются скоплениями серы (юго-западная часть кратера, гребень кратера в северо-восточной части) и обилием вынесенного к подножию вулкана Фусса железа, цементирующего в виде гидроокислов современные пляжевые отложения в 1 км севернее м. Непроходимый, где зафиксирован источник кислых железистых вод. Очевидно, активность выноса была сопоставима по масштабу с той, что мы наблюдаем в настоящее время на вулкане Эбеко и Влодавца (верховье р.Юрьева).

Минеральные источники вулкана Фусса

Впервые минеральные источники были обнаружены в двух диаметрально противоположных точках (рис. 14) (проба 184 и 86) И.Г. Смирновым и Г.Н. Рогатневым. Это малодобитные (до 1 л/сек) железистые источники с кислой на вкус, прозрачной без запаха во-

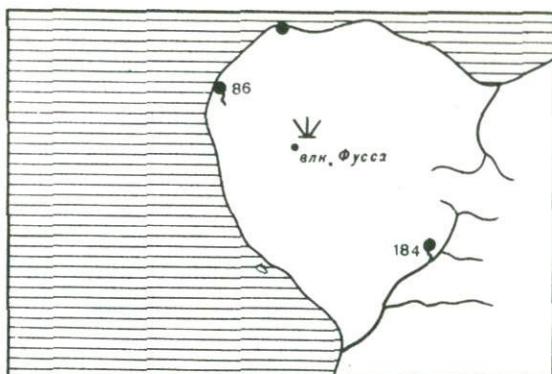
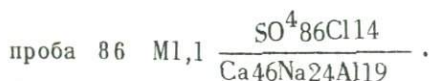
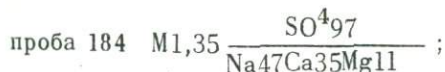


Рис. 14. Схема расположения источников на полуострове Фусса

дой. Минерализация вод источников соответственно 1,35 и 1,06 г/л, рН = 6,3 и 3,5, содержание свободной углекислоты 5,5 и 187,0 мг/л, количество кремнезема 22,0 и 50,5 мг/л. Проба 86 содержит 21,6 мг/л алюминия и 11,2 мг/л окисного железа. Воды сульфатно-натриево-кальциевые (пр. 184) и сульфатно-хлоридно-кальциево-натриевые (пр. 86). Их обобщенный химический состав следующий:



ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА КАРПИНСКОГО

Вулкан представляет собой пологий конус высотой 1345,5 м с диаметром основания около 15 км. На вершине конуса располагается обширная кальдера диаметром 5 км, глубиной до 700 м, открытая к северо-западу.

Внутри кальдеры, у восточной ее стенки, на высоте около 1200 м имеется взрывной кратер (маар). На внешнем склоне кальдеры на той же высоте находится второй кратер с небольшим навесным конусом. Оба эти кратера проявляют довольно интенсивную фумарольную деятельность. Внешние склоны вулкана на востоке и на юге прорезаны глубокими долинами. Имеются следы двух оледенений.

Склоны вулкана и внутренняя часть кальдеры поросли густыми зарослями кустарников. В верхней части отмечаются небольшие фирновые снежники.

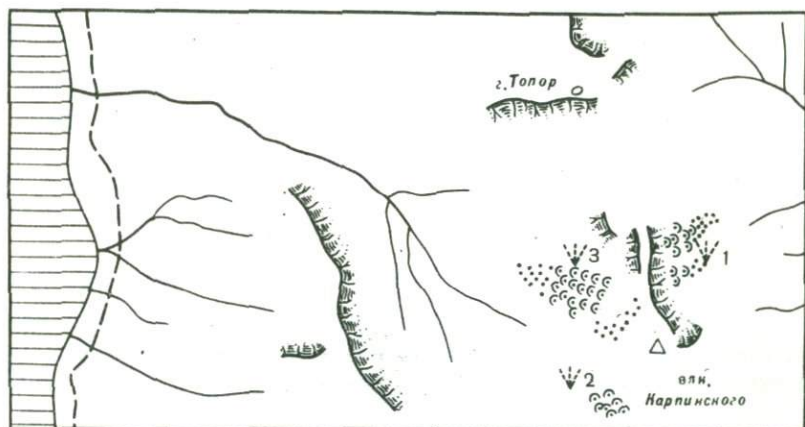


Рис. 15. Обзорная схема местонахождения сольфатарных полей вулкана Карпинского
1, 2, 3 — номера сольфатарных полей

В фундаменте вулкана залегают осадочно-вулканогенные породы неогена. Лавы главного конуса, представленные двупироксеновыми андезитами, скрыты под слоем пирокластики и обнажаются только в стенах кальдеры. Современные лавы (также двупироксеновые андезиты) спускаются с гребня кальдеры.

Гидротермальная деятельность вулкана Карпинского изучалась В.В. Бочкаревым и В.М. Никольским, В.Н. Шиловым и Л.Г. Вороновой, Л.Г. Вороновой и С.С. Сидоровым, И.Г. Смирновым и Г.В. Рогатневым. Ниже приводится ее описание по данным этих авторов.

В пределах вулкана Карпинского и его основания выделяется три сольфатарных поля и несколько групп термальных источников (рис. 15).

Первое сольфатарное поле расположено на восточном внешнем склоне кальдеры вулкана на высоте 1100–1200 м и приурочено к небольшому конусу с кратером, открытым к северу. Диаметр кратера около 300, глубина 75 м. Сольфатарная деятельность в сентябре 1960 г. была сосредоточена у северо-восточной стенки кратера. В других местах действующих fumarol нет, лишь в основании западной стенки четко выделяются желтые пятна отложений серы, фиксирующие места выхода ныне потухших сольфатар. В основании северо-восточной стенки кратера расположена полуразрушенная воронка диаметром 15–20 м и глубиной до 2 м, переходящая в пещерообразное отверстие, откуда вырываются густые плотные клубы газов. Вокруг воронки в стенке кратера множество щелевидных углублений длиной до 1,5 и глубиной до 1 м, на дне и по стенкам которых расположено большое количество паргазовых струй.

Температура пара на выходе из таких углублений не превышает 95°C, давление небольшое, однако на дне многих из них можно на-

блюдать расплавленную серу, которая, как известно, плавится при $T^{\circ} 112,8^{\circ}\text{C}$. В воздухе отчетливо чувствуется запах хлористого водорода.

Второе сульфатарное поле находится внутри кальдеры, близ ее восточной стенки, приблизительно на той же высоте, что и первое. Здесь расположен взрывной кратер (маар) диаметром 350 м и глубиной до 100 м. Кратер прорывает межледниковые лавы, насыпного конуса не имеет. В северо-восточном направлении из него вытекает ручей – один из притоков р. Стрелы, дренирующей кальдеру в целом.

На выходе из кратера по бортам долины ручья в виде бордюра расположено много мелких парогазовых струй. Несколько выше по течению ручья, на левом его берегу, находится группа наиболее мощных сольфатар кратера, образующих серные конусы высотой 2–3 м. В группе насчитывается пять обособленных сольфатар, расположенных довольно кучно (общий диаметр сольфатарного поля не превышает 50 м). Наиболее мощная сольфатара представляет собой усеченный серный конус высотой до 3 м. На вершине, с юго-западной стороны конуса, в его нижней части из сотообразных отверстий, почти сплошь заросших кристаллами серы, с силой вырываются парогазовые струи, температура которых достигает 111°C . Температура других струй равна $106\text{--}114^{\circ}\text{C}$.

Выходов термальных вод в пределах описанного сольфатарного поля не наблюдается. Выше по склону из делювиальных отложений вытекает ручей холодной воды с температурой 3°C , который обводняет одну из парогазовых струй, расположенных на краю сольфатарного поля, в результате чего температура воды в ручейке повышается до 46°C (табл. 15).

Таблица 15

Химический состав воды ручья, обводняющего второе сольфатарное поле вулкана Карпинского*

Анионы	г/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	г/л	мг-экв.	% экв.
F^{-}	0,005	0,26	7,86	H^{+}	0,00079	0,49	14,58
Cl^{-}	0,0184	0,52	15,71	Na^{+}	0,014	0,61	18,16
Br^{-}	0,00065	0,01	0,30	K^{+}	0,012	0,31	9,23
SO_4^{-}	0,1186	2,47	74,62	Mg^{++}	0,0049	0,40	11,90
HSO_4^{-}	0,0058	0,05	1,51	Ca^{++}	0,012	0,60	17,86
Σ анионов	0,1484	3,31	100,00	Fe^{++}	0,006	0,21	6,25
				Al^{+++}	0,0067	0,74	22,02
				Σ катионов	0,0561	3,36	100,00

Недиссоциированные молекулы:

H_2SiO_3 – 0,0234

Сульфатный остаток – 0,212

* Авторы обследования Л.Г. Воронова и С.С. Сидоров, 1966 г., дата отбора пробы 19.IX 1960 г.; место анализа СахКНИИ; $T(^{\circ}\text{C})=46$; минерализация (г/л)=0,2279; $\text{pH}=3,0$

Таблица 16

Состав воды гидросольфатары второго сольфатарного поля вулкана Карпинского*

Анионы	г/л	мг-экв.	% экв.	Катионы	г/л	мг-экв.	% экв.
F ⁻	Не опр.	-	-	H ⁺	-	-	-
Cl ⁻	0,0149	0,42	5,53	NH ₄ ⁺	0,0002	0,01	0,13
Br ⁻	0,00037	-	-	Na ⁺	0,013	0,56	7,33
I ⁻	Не обн.	-	-	K ⁺	0,012	0,31	4,06
SO ₄ ⁻	0,3230	6,72	88,42	Mg ⁺⁺	0,0076	0,63	8,25
HSO ₄ ⁻	-	-	-	Ca ⁺⁺	0,027	1,35	17,67
HCO ₃ ⁻	0,0281	0,46	6,05	Fe ⁺⁺	0,0022	0,08	1,05
Σ анионов	0,3664	7,60	100,00	Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-
				Al ⁺⁺⁺	0,0422	4,70	61,51
				Mn ⁺⁺	Не обн.	-	-
				Σ катионов	0,1042	7,64	100,00

Недиссоциированная молекула:

H₂SiO₃ - 0,0832

* Авторы обследования Л.Г. Воронова и С.С. Сидоров, 1966 г.; дата отбора пробы 20.IX 1960 г., место анализа СахКНИИ, аналитик В.М. Брагина, T (°C)=92; минерализация (г/л)=0,5538; pH=3,67.

На юго-восточном склоне кратера, отвесном в верхней своей части и выполаживающемся ниже (до 35°), лежит снежник. Многочисленные ручейки дают начало уже упоминавшемуся ручью, дренирующему весь кратер. Часть из них пропадает в обломочном материале и вновь появляется значительно ниже в виде источников, обводняя многочисленные парогазовые струи, подковообразно расположенные у основания склона. Температура воды в образующихся при этом небольших лужичках достигает 92°C, вода в лужах "кипит" от многочисленных пузырей газа и далеко разбрызгивается в месте выхода мощных сольфатар. Такую, заливаемую водой сольфатару представляет, по-видимому, очень эффективный косой фонтан высотой до 2 м (табл. 16). В одних лужах, расположенных выше по склону, вода прозрачная, без запаха сероводорода. В других, расположенных у основания склона, более глубоких и с менее интенсивным водообменом, а часто и без видимого стока, белесоватомутная от присутствия тонкодисперсной серы, образующейся в результате окисления H₂S.

Третье сольфатарное поле расположено в полости кальдеры северо-восточнее и несколько выше маара, в взрывном кратере аналогичных размеров. Породы восточной стенки кратера превращены в пестрые вязкие глины, насыщенные водой. Вдоль склона в виде полосы длиной 60-70 м и шириной 10-15 м расположены многочисленные выходы слабых парогазовых струй с ржаво-бурым налетом окислов железа вокруг выводящих отверстий, из которых в ряде случаев летят брызги воды.

В основании северо-западной стенки кратера расположены две небольшие, **отлагающие** серу сольфатары с температурой пара 95°C . Здесь же — ряд потухших вулканов, причем, по-видимому, совсем недавно: из хорошо сохранившихся выводящих каналов отчетливо доносится запах H_2S . В остальной части кратера следы фумарольной деятельности отсутствуют.

Кроме вышеописанных источников, формирующихся непосредственно на вулканических постройках, имеется ряд водопроявлений, которые также, очевидно, связаны с вулканической деятельностью вулкана Карпинского.

Источники реки Обрывистой

Находятся в 6,0 и 7,3 км от устья вверх по реке и приурочены к слабосцементированным лимонитизированным четвертичным конгломерато-брекчиям. Вода мутноватая, кислая, с сильным запахом сероводорода, с температурой около 20°C . Дебит источников 1–2 л/сек, отлагается сульфурит.

Источники реки Рудной

Находятся на левом берегу в 5500 м выше устья. Они приурочены к гидротермально измененным породам неогенового фундамента.

Источники расположены на северном берегу небольшого (диаметром до 14 м) озера. Вода теплая ($25\text{--}30^{\circ}\text{C}$), кислая, железистая. Мощность отложенных источниками слоистых лимонитовых руд достигает 7–9 м. Дебит источников более 1 л/сек.

ОСТРОВ АЛАИД

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА АЛАИД

Вулкан Алаид — самый высокий вулкан Курильского архипелага (2339 м над ур.м.), имеющий почти правильный, сильно усеченный конус, с основанием в виде овала с размерами большого диаметра 17 км и малого 12–13 км, общей площадью 158 км².

Древний вершинный кратер диаметром около 1,5 км сильно разрушен и широко открыт к югу. Центральный конус с диаметром основания приблизительно 750 м имеет кратер диаметром порядка 300 м, глубиной до 100 м.

В восточном секторе располагается ряд древних разрушенных побочных кратеров. Кратер Такетоми образовался в 1933–1934 гг. на подводном склоне конуса.

При посещении вулкана Алаид летом 1959 г. В.Н. Шилов и Л.Г. Ворсова отметили, что в вершинном кратере фумарольная деятельность не наблюдалась.

В кратере Такетоми продолжалась слабая фумарольная деятельность. Она была приурочена к ряду шлаковых конусов,

высотой 15–20 м, расположенных полукругом, и, видимо, очерчивающих кратер, состоящих из нагромождений частично спекшихся вулканических бомб и шлаков кирпичного цвета.

Температура газа достигала 274°C . Небольшие газовые струйки на вершине конуса Такетоми с температурой 46°C были отмечены Е.К. Мархониным летом 1962 г.

В местах выхода газовых струй, начиная с глубины 5–10 см от поверхности, в промежутках между отдельными обломками в большом количестве присутствуют белые и чуть желтоватые возгоны, состоящие преимущественно из галита и нашатыря.

В 1969 г., по наблюдениям И.Г. Смирнова и Г.Н. Рогатнева, фумарольная деятельность в кратере Такетоми не отмечалась. Они зафиксировали наличие нескольких термальных площадок до 15 м в диаметре, которые по их предположению могут быть местами недавней фумарольной деятельности. Шлак на таких площадках теплый, с глубиной его температура увеличивается. На одном из шлаковых конусов рукой ощущается поступление теплых газов. Отмечаются белые, светло-зеленые, порошкообразные налеты.

Летом 1972 г. произошло сильное извержение в нижней части северо-западного склона вулкана. Образовалось несколько крупных мааров, шлаковый конус и лавовый поток, спустившийся в море. В маарах на шлаковом конусе и лавовом потоке действовало множество фумарол. Судя по ряду признаков, они содержали много галогенных газов. Среди возгонов характерными были зеленые хлориды железа.

Чрезвычайно интересным фактом, очевидно, связанным с извержением 1972 г., было образование новой гидротермальной системы на северо-западном берегу о.Алайд. Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко, В.В. Понамарев, А.М. Рожков и А.М. Чирков ее описывают так: "Источники с $T=42-54^{\circ}$ появились в литоральной зоне, южнее излившегося в море молодого лавового потока, на участке протяженностью в один километр. Выходы горячих вод видны только в отлив. На берегу они прослеживаются в полосе шириной до 10–12 м.

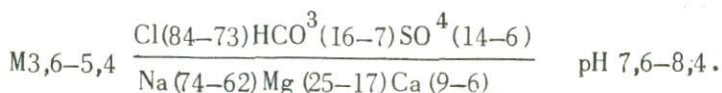
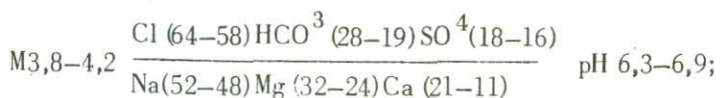
При подъеме уровня воды в море на один метр (отсчет от нуля) источники заливаются. Волнение моря в 2–3 балла скрывает источники даже в полный отлив. Вдоль берега в полосе 50–80 м происходит подводная разгрузка термальных вод, которая хорошо видна по пузырькам газа, омертвлению водорослей и опалесценции морской воды.

.. Выделяются два главных участка разгрузки горячих вод. Первый участок протяженностью около 140 м, расположен на южном окончании песчаного пляжа. По всей его длине происходит обильное высачивание горячей воды. На втором участке протяженностью 100 м сосредоточены самые крупные источники валунного пляжа. Между этими источниками, образующими отдельные ручейки, горячая вода повсюду вытекает из-под валунов, перекрывающих коренные лавы.

На этих двух участках разгружается до 60% всей горячей воды. Суммарный расход термальных вод на пляже составлял в 1973 г. около 300 л/сек, а в 1974 г. снизился до 200 л/сек. Субаквальная разгрузка не учитывалась.

Вывос тепла береговыми источниками очень велик — 15 000 ккал/сек в 1973 г. и 10 000 ккал/сек в 1974 г., это сопоставимо с тепловой мощностью средних по величине гидротермальных систем Камчатки. Можно полагать, что разгрузка тепла субаквальными источниками не уступает по своей величине береговой.

Определенный интерес представляет химический состав термальной воды новых источников. Это гидрокарбонатно-хлоридная натриевая вода с повышенным содержанием магния, обогащенная многими микрокомпонентами. Обобщенная формула ионного состава следующая:



ОСТРОВ МАКАНРУШИ

МИНЕРАЛЬНЫЕ РУЧЬИ ОСТРОВА МАКАНРУШИ

О минеральных ручьях на о.Маканруши упоминается в работах А.И. Соловьева (1947), Г.В. Корсунской (1958). В 1962 г. они обследовались Е.К. Мархиным и Д.С. Стратулой.

Остров Маканруши в плане имеет форму грубого овала, вытянутого меридионально на 10 км, при ширине 7,4 км. На острове имеются два сильно разрушенных вулкана — Северный и Южный. Они образуют сдвоенный вулканический массив с несколькими побочными вулканами.

Лавы Северного вулкана представлены базальтами, Южного — андезито-базальтами. Для этих вулканов, особенно для Северного, характерна недавняя фумарольная деятельность. Борты ручьев Сброс и Вилка часто сложены измененными, местами обожженными, породами (рис. 16).

Вода ручья, стекающего из кратера Северного вулкана, имеет кисловатый вкус. По выражению Г.В. Корсунской и А.И. Соловьева, ручьи "содержат много ссыры".

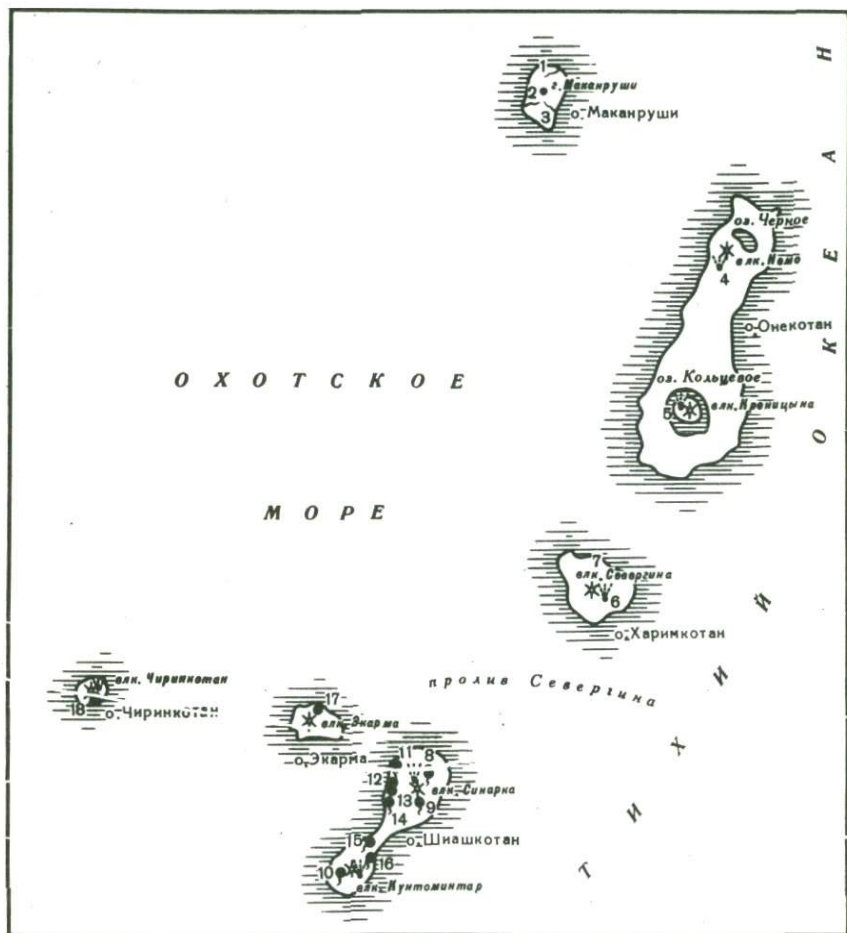


Рис. 16. Минеральные источники и термальные проявления на островах Макаруши, Онекотан, Харимкотан, Шиашкотан, Экарма и Чиринкотан

Источники и термальные проявления: 1 - ручья Северного, 2 - ручья Сброс, 3 - ручья Вилка, 4 - вулкана Пик Немо, 5 - вулкана Пик Креницына, 6 - экструзивного купола вулкана Севергина, 7 - Прибрежные, 8 - Северо-восточные, 9 - Центрального экструзивного купола вулкана Синарка, 10 - вулкана Кунтоминтар, 11 - Башмачные, 12 - Двухконусные, 13 - Водопадные, 14 - Дробные, 15 - Закатные, 16 - Обвальные, 17 - вулкана Экарма, 18 - вулкана Чиринкотан

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА ОНЕКОТАН

На о.Онекотан находятся два вулкана – Пик Немо и Пик Креницына, на которых отмечается сольфатарная деятельность. Сведения об этих вулканах и их сольфатарах заимствованы у Г.С. Горшкова (1967).

СОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ПИК НЕМО

Пик Немо имеет форму красивого, слабо усеченного конуса и является центральным конусом сложной вулканической постройки, формирующей северную часть острова.

Высота конуса достигает 1019 м, диаметр основания около 5 м. Довольно ровные, правильные склоны покрыты многочисленными потоками лав, местами засыпанными с поверхности шлаками.

В юго-западной части конуса на высоте 750–800 м намечается уступ гребня старого кратера, диаметр которого достигал, по-видимому, 800–900 м. Этот кратер целиком заполнен внутренним конусом, кратер которого диаметром 350 м в свою очередь запечатан небольшим экструзивным куполом. Купол полностью перекрыл гребень кратера и придал вершине заостренную форму. Высота купола примерно 100 м, на его вершине расположен кратер обрушения диаметром около 150 м.

На поверхности 800-метрового уступа имеется взрывная воронка диаметром 40 и глубиной 30 м – пункт интенсивной современной сольфатарной деятельности.

СОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ПИК КРЕНИЦЫНА

Пик Креницына – это центральный конус большого кальдерного вулкана Тао-Русыр, занимающего южную часть острова.

Сомма вулкана образует пологий щитовой вулкан с углами склонов от 7° на востоке до 14° на западе. Диаметр основания соммы достигает 16–17 км. На вершине соммы Тао-Русыр расположена полностью замкнутая кальдера диаметром 7,5 км, в которой на высоте около 400 м над ур.м. расположено глубокое кальдерное озеро (кольцевое) диаметром 7 км.

Глубина озера неизвестна, но весьма значительна. Близ северного берега 150-метровый лот не достиг дна. Цвет воды в озере темно-синий, очень глубокого тона.

Пик Креницына проявлял слабую сольфатарную деятельность в 1846 и 1879 гг., затем надолго затих и даже считался потухшим. Однако в ноябре 1952 г. неожиданно произошло бурное извержение. Оно началось взрывами через вновь образовавшийся экструзивный кратер на восточном склоне вулкана. Затем место переместилось к основанию внутреннего конуса, где позже выдавился новый лавовый купол. После извержения вулкан возобновил фумарольную деятельность в трех пунктах: на восточном краю вершинного кратера, в боковом кратере и у подножия конуса на краю подводного кратера. Здесь же у нового купола, выходят струйки горячей минерализованной воды.

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА ХАРИМКОТАН

Гидротермы о. Харимкотан обнаружены Е.К. Мархининым и Д.С. Стратулой в 1962 г.

О. Харимкотан имеет неправильную форму: его длина 13 км, ширина 8 км. Остров образован сложным вулканом Севергина. Склоны соммы сравнительно мало расчленены. Кратер широко открыт к востоку, и в нем находится экструзивный купол. В настоящее время установлено, что последнее извержение вулкана в 1933 г. было аналогично по характеру извержению вулкана Безымянного на Камчатке в 1956 г. и привело к образованию большого агломератового потока. Лавы острова представлены андезитами и оливиновыми базальтами. При последнем извержении было выброшено много пемзовидного материала, покрывшего значительную часть острова. В верхней части экструзивного купола обнаружены многочисленные выходы горячего пара (температура более 200°C) из трещин. За вершиной купола имеется несколько фумарол с температурой более 115°C, отлагающих около выхода самородную серу.

У восточного побережья вулкана располагаются солоноватые озера, отшнуровавшиеся, очевидно, от моря.

В озера впадают многочисленные кислые ручьи. Кислый вкус воды объясняется тем, что ручьи пронизывают свежий агломератовый поток. Часто в руслах этих ручьев выпадают красные гидроокислы железа. По этой же причине дно некоторых озер имеет красивую разноцветную окраску.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОСТРОВА ШИАШКОТАН

Из 9 групп термальных источников Шиашкотана 3 (кратера Кунтоминтар, купола Синарки и северо-восточного склона Синарки) приурочены к вулканическим массивам и 6 (Башмачная, Двухкопусная, Водопадная, Дробная, Закатная и Обвальная) — к неогеновому (?) фундаменту острова (рис. 16).

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА СИНАРКА

Горячие источники, приуроченные к Центральному экструзивному куполу Синарки, вытекают на западном склоне вулкана у подножья купола и ниже его. Выделяются шесть участков водопроявлений.

1. Серия рассредоточенных струй у подножья купола в полосе размером 20 × 50 м. Температура воды 50–65°C, pH = 3,29. Суммарный видимый дебит 10 л/сек. Большая часть термальной воды собирается в один ручеек, меньшая — просачивается в рыхлые отложения.

2. Более 10 рассредоточенных струй, прослеживающихся на расстоянии до 35 м по дну и правому борту промоины глубиной 10 м и шириной по дну 6 м.

Воды собираются в ручеек дебитом 10 л/сек, выпадающий через 40–50 м в ручеек, берущий начало с участка № 1.

Температура воды 37° , $pH = 3,5$. Источники расположены в 250–300 м к северо-востоку от предыдущих.

3. В 250–300 м ниже по течению "термального" ручейка первого участка на его левом борту отмечаются на расстоянии 10 м три источника с температурой 35° , суммарным дебитом 5 л/сек.

4. Три восходящие струйки воды с температурой 45° , $pH = 2,3$, общим дебитом 2 л/сек выступают на протяжении 10 м на дне распада. Воды сливаются в один ручеек, впадающий через 250 м в ручеек, собирающий воды с предыдущих участков.

5. Термальная площадка размером 30×30 м на левом склоне долины "термального" ручья. Источники восходящие и вытекают из трещин и округлых отверстий. Наиболее мощный из них имеет дебит 3 л/сек и вытекает из отверстия диаметром 7 см. В некоторых местах вода пробивается почти вертикальными струйками на высоту до 15–20 см; устья этих источников в поперечнике имеют не более 1 см. Суммарный дебит источников 10 л/сек, температура воды – $46\text{--}49^{\circ}$, $pH = 4,2$.

6. В 200–250 м к западу от первого участка на склонах циркообразной впадины глубиной 10 м и диаметром 20 м отмечается серия рассредоточенных нисходящих выходов горячей воды общим дебитом 10 л/сек, с температурой 36° , $pH = 4,7$.

Суммарный видимый дебит источников, приуроченных к центральному экструзивному куполу Синарки, равен 45–50 л/сек.

Северо-восточное гидросольфатарное поле вулкана Синарка

Вулкан Синарка расположен на левом борту ручья Серного на высоте 400–500 м н.у.м., его размеры 150×200 м. В пределах поля обособляются 5 термальных участков.

Первый термальный участок размером 20×30 м занимает долину верхнего притока ручья Серного. В его верхней части отмечаются многочисленные слабые струйки газа, выходящие из щелевидных трещин в сильноизмененных осерненных породах, а также несколько горячих источников с суммарным дебитом 2–3 л/сек и температурой воды $25\text{--}35^{\circ}$, $pH=4$. В нижней части участка из котлообразного углубления размером $1,5 \times 2,5$ м у подножья невысокого хребтика с огромной силой вырываются 3 фумаролы, нагревающие воды втекающего в него холодного ручейка дебитом 7 л/сек до 91° .

Второй термальный участок расположен в верховье среднего притока ручья Среднего. Здесь парогазовые струйки выходят со дна небольших грязевых котлов, в которых скапливается мутная горячая вода. В наиболее крупном котле газо- и водовыделения гейзерного типа, суммарный дебит горячих источников 2–3 л/сек, температура воды $78\text{--}90^{\circ}$, $pH = 5\text{--}7$.

На третьем термальном участке, находящемся в 150 м от второго вниз по руслу среднего притока, отмечены только горячие источники. На левом борту притока разгрузка источников линейная,

температура воды 67° , дебит 4–5 л/сек. Выходы воды на правом борту рассредоточенные, дебит наиболее крупного источника 4 л/сек, температура 48° , рН = 5,5, суммарный дебит остальных ключей 3 л/сек.

На четвертом термальном участке, расположенном в 70 м к северу от второго, средней силы фумаролы нагревают омывающие их холодные поверхностные воды, собирающиеся несколько ниже в один ручеек дебитом 15–20 л/сек, температура до 30° ; прослеживаются также несколько горячих источников с температурой воды $55\text{--}60^{\circ}$, дебитом до 0,5 л/сек.

Пятый термальный участок, находящийся в северо-восточной части гидросольфатарного поля, вытянут на 50–60 м в низовье ручейка, берущего начало на четвертом участке. Термальная деятельность проявляется рассредоточенными выходами нескольких горячих источников с суммарным дебитом 10–13 л/сек, с температурой $45\text{--}80^{\circ}$, рН = 4,6, температура воды ручейка 25° .

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА КУНТОМИНТАР

В кратере Кунтоминтара выходы термальных вод расположены среди сольфатарных полей дна и северного борта. Д.С. Стратулой были опробованы два источника, выходящие на левом берегу Кратерного ручья в юго-западной части западного поля. Расход воды в них (на 6.VI 1964 г.) 0,3 л/сек. На дне источников отмечены отложения светло-желтой серы, а непосредственно у выхода вод – слабые газовыделения. Подобных источников в кратере не менее двадцати.

Горячая вода поступает в вытекающий из кратера относительно крупный ручей, питающийся в основном атмосферными водами. Химический состав вод ручья создается выщелачиванием омываемых пород, растворением возгонов и ряда газовых компонентов фумарол, перемешиванием с гидротермами, а температурный режим – нагреванием фумарольными газами при прохождении через сольфатарные поля. Около выхода из кратера температура воды ручья достигает $18\text{--}20^{\circ}$, рН = 2,5, общая минерализация 1,6 г/л при дебите 30 л/с (на 12.VI 1963 г.). Эти характеристики изменяются по временам года. Так, на 19.VII 1962 г. дебит ручья 10 л/сек, температура воды 35° , рН = 2, общая минерализация – 6,30 г/л. Химический состав (по данным на 12.VI 1963 г.) хлоридно-сульфатный, щелочно-щелочноземельный и относительно вод горячих источников отличается повышенным процентным содержанием сульфатов щелочных земель и железа¹. После выхода из кратера ручей на протяжении 150–200 м течет по узкому глубокому ущелью между западными продолжениями боковых стенок кратера. К месту впадения в котловину-кальдеру дебит ручья за счет притока нескольких небольших холодных пресных источников достигает 35 л/сек, а температура воды $15\text{--}17^{\circ}$, рН = 3, общая минерализация – 1,2 г/л. Химический состав, ввиду интенсивного выщелачивания

¹ Определения произведены в поле В.Я. Чемурако.

чивания окружающих пород, изменяется до сульфатно-хлоридного, щелочноземельного, железисто-щелочного. В котловине-кальдере Кратерный ручей разветвляется на два ручья: Западный и Северный.

Западный ручей, дебитом 30 л/сек, на протяжении 750-500 м течет по котловине с ровным слегка наклоненным дном. На этом участке в него впадают два горячих источника с общим дебитом 15 л/сек, и несколько холодных ручьев с дебитом 55 л/сек.

Теплые ручьи вытекают с внешней стороны левого борта кратера. Их происхождение такое же, что и Кратерного ручья. Химический состав их вод сульфатно-хлоридный, щелочно-щелочноземельный, температура 20-25°, pH = 2,5.

Холодные ручьи снегового происхождения. Их химический состав хлоридно-сульфатно-щелочноземельный и образуется только за счет выщелачивания пород области питания, pH = 4, температура 10°. После выхода из котловины-кальдеры Западный ручей течет по остаткам разрушенного западного склона соммы вулкана. В нескольких местах он прорезает лавовые слои, образуя водопады. Минерализация воды в месте впадения в море равна 0,9 г/л, pH = 4,5, дебит - около 100 л/сек. Химический состав - сульфатно-хлоридный, щелочноземельно-щелочной. В приливной полосе в центральной части устья камни покрыты красным налетом, а по краям - белым. Цвет воды в море в зоне с радиусом 50-60 м - розовый.

Северный ручей после ответвления от Кратерного ручья на участке в 700-800 м просачивается сквозь пирокластический материал, затем после выхода на поверхность впадает в относительно небольшую котловину (70×70 м), занятую двумя озерами (названными Красными - по цвету пород дна и берегов). Первое озеро шириной 10 м и длиной 40 м вытянуто по направлению течения ручья. Второе озеро длиной 50 м и шириной от 20 до 30 м занимает западную часть котловины и гипсометрически находится на 3 м ниже предыдущего. Озера соединяются между собой ручейком дебитом 6-7 л/сек. Средняя глубина озер 50 см, максимальная - 1 м. Берега и дно котловины сложены рыхлым лимонитом.

Из второго озера ручей, просачиваясь сквозь 20-метровой ширины агломератовый холм, впадает в другую котловину (длиной 100 и шириной 80 м) со ступенчатым дном. Ступени протягиваются с запада на восток, т.е. перпендикулярно общему направлению понижения рельефа, и имеет ширину от 1 до 10 м и относительную высоту одна над другой от 10 до 50 см. Большей частью они заняты небольшими и неглубокими (до 30 см) проточными озерами и сложены лимонитом.

К Красным озерам в связи с интенсивным выщелачиванием пород, сквозь которые просачивается ручей, минерализация воды увеличивается от 1,2 до 1,5 г/л, pH от 3 до 4. Химический состав становится сульфатно-хлоридным щелочноземельным.

Из ступенчатой котловины вода вытекает по двум руслам: одно идет к западу, другое - к северу. Обследованный нами северный ручей протекает дальше по долине, осложненной несколькими холмами.

Ручей часто разветвляется на многочисленные меандрирующие русла, образующие местами мелкие озера. Через 1000–1200 м он впадает в море. На участке Красные озера – море дебит ручья за счет притока снеговой воды увеличивается до 100 л/сек, общая минерализация уменьшается до 1,2 г/л. Химический состав остается почти неизменным. Цвет воды в море в зоне с радиусом 35–40 м молочно-голубой, камни в устье в отливной полосе покрыты белым налетом.

ИСТОЧНИКИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

В прибрежной полосе острова отмечено шесть групп гидротерм. Каждая группа состоит из 1–30 источников. Из источников только один выходит из трещины в дайке, находящейся в море на расстоянии 90 м от берега, еще один – среди неогеновых (?) пород в 20 м от моря, в глубине острова, остальные – из трещин в породах даек и неогенового (?) фундамента в приливо-отливной полосе. Все

Таблица 17

Характеристика источников в прибрежной полосе Шиадокотана

Источники	Протяженность поля вдоль берега, м	Ширина, м	Удаленность источников от приливоотливной полосы, м (+ в глубину острова, – в сторону моря)	Видимый суммарный дебит, л/сек	t°C
I. Башмачная группа					
Источник у м. Башмачного	15	5	0	5	20–67
В 0,5 км к западу от 1	1	1	+20	0,2	68
В 0,4 км к западу от 2	5	3	0	2	20–74
В 0,15 км к западу от 3	12	4	0	5	78
В 0,3 км к западу от 4	25	6	0	5	62
В 0,3 км к западу от 5	150	10		10	87
В 0,7 км к западу от 6	1	3	0	0,3	50
II. Двухкоусные	25	5	0	3	26
III. Водопадные	1	0,5	-90	0,3	74
IV. Дробные	50	10	0	10	60
V. Закатные	170	15	-3 +10	5	43
VI. Обвальные	1	1	0	0,2	67

источники восходящие. Вода у выхода обычно смешивается с морской водой и водой холодных ручейков, стекающих с берегового обрыва. Судя по температуре (доходящей до 20°) и цвету морской воды, гидротермы имеются и в прибрежной зоне моря. Суммарный видимый дебит источников равен 50 л/сек. Краткая характеристика прибрежных гидротерм приведена в табл. 17.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕНИЗИС ГОРЯЧИХ ИСТОЧНИКОВ

Для характеристики химического состава горячих источников были отобраны 25 проб термальной воды, 15 проб холодных минерализованных источников, 1 проба снежниковой воды и 1 проба атмосферного осадка. Основная часть проб анализировалась в поле в лаборатории И.Н. Резникова В.Я. Чемурако. Наиболее интересные пробы анализировались также в стационарных лабораториях Паужетской геотермальной партии, Института вулканологии и Камчатского геологического управления (табл. 18-20).

РН	Условия выхода	Примечание
6,2	Из трещины на дне лункообразных углублений между пляжевыми валунами	При T 60° имеются налеты охристого цвета. Данные на 25.VI 64.
6,0	Рассредоточенные струйки на дне углубления диаметром 1 м	Состав - см. табл. 20 Данные на 25.VI 1964
5,6	Из трещины на дне лункообразных углублений между пляжевыми валунами	Состав - см. табл. 20 Данные на 25.VI 1964
6,7	Из трещины в дайках и лавовых "плитах"	Водопрводящие трещины в дайках выполнены кремнисто-сульфидными жилами
5,9	Из трещины в дайках и лавовых "плитах"	Водопрводящие трещины часто выполнены кремнисто-сульфидными жилами
6,6	Из трещины в дайках и лавовых "плитах"	Данные на 25.VI 1964
6,3	Из трещины в дайках	Данные на 25.VI 1964
6,5	Из трещины в лавовых "плитах" и дайках	Данные на 25.VI 1964
6,6	Из трещины в дайке (на высоте 1,5 м над ур.м. в отливе)	Трещины в дайках выполнены жилами халцедона. Состав - см. табл. 20. Данные на 26.VI 1964
6,9	Из трещины в дайках и лавовых "плитах"	Состав - см. табл. 20. Данные на 3.VII 1964
6,8	Из трещины в дайках и со дна лунок между пляжевыми валунами	Трещины часто выполнены кремнисто-сульфидными жилами. Со дна некоторых лунок выделяются спонтанные газы. Состав - см. табл. 20. Данные на 5.VII 1964
7,1	Рассредоточенные струйки среди рыхлых пляжевых отложений	Состав - см. табл. 20. Данные на 15.VII 1964.

Таблица 20

Химический состав горячих источников прибрежной зоны Шиадокотана

Компоненты	1			2			3		
	мг/л	мг·эquiv	% экв.	мг/л	мг·эquiv	% экв.	мг/л	мг·эquiv	% экв.
Na ⁺	28,29	1,23	39,81	1246,95	54,21	78,67	4976,0	212,0	81,02
K ⁺				70,0	1,79	2,60	100,0	2,56	0,98
Mg ⁺⁺	10,49	0,86	27,83	8,05	0,66	0,96	355,0	29,13	13,13
Ca ⁺⁺	20,0	0,1	32,36	245,0	12,25	17,77	359,4	17,97	6,87
Σ катионов	58,58	3,09	100,0	1570,10	69,91	100,00	5692,4	261,66	100,00
Cl ⁻	36,56	1,03	33,33	2303,6	64,89	94,17	8520,0	240,0	91,72
SO ₄ ⁻⁻	83,12	1,73	55,99	109,45	2,28	3,31	925,87	19,27	7,37
HCO ₃ ⁻	20,13	0,33	10,68	106,14	1,74	2,52	145,79	2,39	0,91
Σ анионов	139,81	3,09	100,00	2519,23	68,91	100,00	9691,66	261,66	100,0
H ₂ SiO ₃	194,55			175,8			256,80		
HBO ₂				84,85			66,65		
NH ₄ ⁺	1,2			0,80			4,50		
CO ₂	14,11			He опр.			79,2		
Минерализация	408,19			4350,78			15791,21		
pH	6,05			6,61			6,65		
T °C	68			74			87		
Дата отбора	25.VI 1964			25.VI 1964			26.VI 1964		

Na ⁺	3885,6	168,94	75,54	1475,0	64,13	71,92	2293,33	99,71	75,16
K ⁺	96,0	2,45	1,09	79,86	2,04	2,29	60,00	1,53	1,16
Mg ⁺⁺	461,52	37,83	16,92	54,72	4,50	5,05	170,19	13,95	10,52
Ca ⁺⁺	288,2	14,41	6,45	370,0	18,50	20,74	2872,72	132,64	13,16
Σ катионов	4731,82	223,63	100,0	1979,61	89,17	100,0	349,0	132,64	100,70
Cl ⁻	7100,0	200,0	89,43	2661,43	79,97	84,07	4206,75	118,50	89,34
SO ₄ ⁻⁻	957,15	19,93	8,91	519,23	10,80	12,11	357,6	11,19	8,44
HCO ₃ ⁻	225,70	3,70	1,66	207,40	3,40	3,82	179,95	2,95	2,22
Σ анионов	8283,25	223,63	100,0	3388,06	89,17	100,0	4924,32	132,64	100,00
H ₂ SiO ₃	228,27			147,85			132,29		
HBO ₂	22,0			20,0			180,0		
NH ₄ ⁺	1,50			1,75			3,0		
CO ₂	44,0			He опр.			140,0		
Минерализация	13300,74			5537,27			8252,33		
pH	6,98			6,80			7,10		
T, °C	60			43			67		
Дата отбора	3.VII 1964			5.VII 1964			15.VII 1964		

Пробы 1-6: 1 - Башмачные; источник с участка 2 (табл. 17); 2 - Башмачные; источник с участка 3 (табл. 17); 3 - Водопадные; 4 - Дробные; 5 - Закатные; 6 - Обвальные.

Анализы произведены в лаборатории Камчатского ГУ, аналитик В.С. Цыганкова. Содержание свободного CO₂ определялось в поле В.Я. Чермурако.

По химическому составу источники, приуроченные к вулканическим аппаратам, отличаются от термальных вод, выходящих в приливо-отливной полосе среди неогеновых (?) пород. Для первых характерна кислая реакция, низкая минерализация, преимущественно хлоридно-сульфатный анионный и смешанный катионный состав. Для вторых - почти нейтральная реакция, относительно высокая минерализация и резкое преобладание среди компонентов ионов натрия и хлора.

Химический состав гидротерм определяется главным образом тремя факторами:

1. Составом поверхностных и грунтовых вод, дренирующих термальные поля.

2. Воздействием на поверхностные и грунтовые воды магматических газов и, по-видимому, восходящих глубинных (ювенильных или инфильтрационных) термальных вод.

3. Прямым или косвенным воздействием морской воды и солеотложений морских осадков на воды формирующие горячие источники.

Термальные источники формируются главным образом за счет холодных поверхностных и инфильтрационных вод, попадающих в поля повышенных температур. Климатические условия на о.Шиашкотан благоприятны для развития обильного и сравнительно равномерного в течение года поверхностного и подземного стока. Развитию подземного стока способствуют также глубокие разломы и сопутствующие им трещинные зоны.

Водоупорами для подземных вод чаще служат гидротермально измененные породы или плотные горизонты различных туфов. Водовмещающими породами обычно являются сильно трещиноватые лавовые потоки и толщи спелшихся туфов. Ввиду сильной эрозивной расчлененности рельефа изолированные водоносные горизонты на острове прослеживаются на незначительных расстояниях. Разгрузка вод большей частью осуществляется в морских обрывах и оврагах на склонах вулканов, т.е. в местах пересечения водоносных горизонтов с отрицательными формами рельефа.

Химический состав холодных источников формируется выщелачиванием водовмещающих пород и растворением ряда вулканических и морских компонентов из атмосферы.

Атмосферный осадок в июле 1964 г. имел сравнительно высокую минерализацию, низкий кислотный показатель и сложный состав. Снежниковая вода имеет $pH = 4,0-5,0$ и минерализацию до $0,3$ г/л. Ее состав хлоридно-сульфатный щелочноземельно-щелочной, содержание CO_2 - $50-70$ мг/л.

Состав дождевой воды обусловлен, по-видимому, растворением хлора из морской "пыли" и сульфатного иона из вулканических эманий, а снежниковой воды - осаждением из воздуха на снежный покров вулканической серы. Весною снег на большей части поверхности острова имеет слегка желтоватую окраску из-за примеси вулканической серы.

Таблица 18

Химический состав атмосферных осадков и холодных вод Шияшкотана

Компоненты	1			2			3			4			5			6			7			
	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	мг/л	$\frac{\text{мг-экв.}}{\text{л}}$	% экв.	
H ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	1,05	2,7	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺ + K ⁺	15,41	0,67	55,0	17,94	0,78	26,99	28,06	1,22	34,66	328,0	14,18	32,28	87,0	3,78	9,6	550,39	23,93	43,02	112,77	4,74	37,0	
Mg ²⁺	6,71	0,55	45,0	8,39	0,69	23,87	8,27	0,68	19,32	83,69	6,86	15,62	22,1	1,82	4,6	39,52	3,25	5,84	30,15	2,41	18,9	
Ca ²⁺	-	-	-	28,40	1,42	49,14	32,40	1,62	46,02	425,6	21,28	48,44	364,7	18,20	46,3	510,0	25,50	45,85	111,60	5,58	43,0	
Fe ²⁺ + Fe ³⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0	1,61	3,66	1,0	0,05	0,1	55,37	2,94	5,29	3,0	0,13	1,1	
Al ³⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130,0	14,45	36,7	-	-	-	-	-	-	
Σ катионов	22,12	1,22	100,0	54,73	2,89	100,0	68,03	3,52	100,00	867,29	43,93	100,0	605,8	39,35	100,0	1155,28	55,62	100,00	257,52	12,86	100,0	
Cl ⁻	30,1	0,85	69,7	43,31	1,22	42,21	28,75	0,81	24,01	358,55	10,1	22,99	25,6	0,72	2,0	215,48	6,07	10,91	85,20	2,40	18,51	
SO ₄ ²⁻	8,0	0,17	13,9	59,60	1,24	42,91	128,30	2,67	75,85	1624,85	33,83	77,01	1694,6	35,28	98,0	2380,11	44,55	89,09	507,79	10,57	81,49	
HCO ₃ ⁻	12,2	0,2	16,4	26,23	0,43	14,88	2,44	0,04	1,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Σ анионов	50,3	1,22	100,0	129,14	2,89	100,00	159,49	3,52	100,0	1983,4	43,93	100,0	1720,2	36,0	100,0	2595,50	55,62	100,0	592,99	12,97	100,0	
H ₂ SiO ₃	-	-	-	22,0	-	-	0,40	-	-	146,56	-	-	6,0	-	-	217,89	-	-	-	-	-	
NH ₄	0,8	-	-	0,10	-	-	0,10	-	-	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	117,37	-	-	
Br	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	-	-	9,1	-	-	6,0	-	-	7,0	-	-	
HBO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	-	-	He опр.	-	-	
CO ₂	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	545,6	-	-	2326,0	-	-	4327,7	-	-	975,08	-	-	
Минерализация	72,42	-	-	205,97	-	-	268,32	-	-	4,2	-	-	2,98	-	-	3,0	-	-	3,2	-	-	
pH	5,5	-	-	6,9	-	-	5,4	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Пробы (1-7): 1 - Атмосферный осадок, отобран в районе м.Башмачного. Анализ выполнен полевой лабораторией Резникова В.Я. Чемурако; 2 - Холодный источник, вытекающий из толши спекшихся туфов в районе м.Красного; 3 - Вулкан Синарка, Водопадные ручьи; 4 - Устье реки Агломератовой, дренирующей гидротермально измененные породы северного склона вулкана Синарка (т. 46). Дебит 2 м³/сек; 5 - Вулкан Кунтоминтар, Красные озера; 6 - Железистые источники на левом борту р.Агломератовой; 7 - Источники, вытекающие на правом борту р.Серной и отлагающие тонкодисперсную серу;

Анализ проб 2, 3, 4, 5, 7 выполнен в химической лаборатории Камчатского ГУ, аналитик В.С. Цыганкова. Проба № 5 анализировалась Е.Фильковой в лаборатории Института вулканологии СО АН СССР. Определение свободного CO₂ произведено в поле В.Я. Чемурако.

Таблица 19

Химический состав термальных вод вулканов Шивашкотана

Компоненты	Кунтоминтар									Синарка											
	Центральный кратер			Подножие Центрального экструзивного купола						Северо-восточное термальное поле											
	1			2			3			4			5			6			7		
	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.	мг/л	мг-экв. л	% экв.
H ⁺	12,0	12,0	11,1				5,5	5,5	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺	128,0	5,57	5,1	2538,97	110,39	75,24	216,0	9,39	16,1				100,35	4,36	33,80				104,75	4,54	25,97
K ⁺	-	-	-	91,34	2,33	1,59	20,0	0,51	0,9	87,17	3,79	41,79	9,00	0,23	1,78	39,56	1,72	25,98	5,59	0,14	0,80
Mg ⁺⁺	73,8	6,07	5,6	200,64	16,50	11,24	153,9	11,01	18,9	18,36	1,51	16,65	25,96	2,21	17,13	19,09	1,57	23,72	49,61	4,08	23,34
Ca ⁺⁺	395,8	19,75	18,1	350,0	17,50	11,93	329,3	16,4	28,2	71,60	3,58	39,47	122,0	6,10	47,29	66,60	3,33	50,30	174,40	8,72	49,89
Fe ⁺⁺	3,0	0,11	0,1	-	-	-	3,0	0,11	0,2	2,5	0,08	0,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	117,0	6,28	5,8	-	-	-	-	-	-	2,0	0,11	1,21	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ⁺⁺⁺	530,8	59,09	54,3	-	-	-	137,4	15,27	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ катионов	1260,4	108,87	100,1	3180,95	146,72	100,00	845,1	58,22	100,0	181,63	9,07	100,00	258,81	12,90	100,0	125,25	6,62	100,0	334,35	17,48	100,0
Cl ⁻	609,0	17,18	18,1	4632,52	130,55	88,98	641,8	18,1	32,7	41,53	1,17	12,90	68,87	1,94	15,04	27,33	0,77	11,63	95,85	2,70	15,45
SO ₄ ⁻⁻⁻	3738,1	77,82	81,9	592,55	12,34	8,41	1794,1	37,35	67,3	379,6	7,90	87,10	405,50	8,44	65,43	165,20	3,44	51,96	708,90	14,75	84,38
HCO ₃ ⁻				233,63	3,83	2,61							153,72	2,52	19,53	147,01	2,41	36,41	1,83	0,03	0,17
Σ анионов	4347,1	95,0	100,0	5458,70	146,72	100,00	2436,0	55,45	100,00	421,13	9,07	100,0	628,19	12,90	100,0	339,51	6,62	100,0	806,58	17,48	100,0
H ₂ SiO ₃	22,7	-	-	169,25	-	-	25,9	-	-	127,75	-	-	167,31	-	-	190,65	-	-	84,95	-	-
H ₃ BO ₂	-	-	-	28,0	-	-	60,6	-	-	4,0	-	-	5,0	-	-	5,0	-	-	7,0	-	-
H ₂ S	0,068	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	2058	-	-	288,8	-	-	897,6	-	-	96,8	-	-	26,4	-	-	26,0	-	-	2,60	-	-
NH ₄ ⁺	не опр.	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	-	0,50	-	-	0,1	-	-	-	-	-
Минерализация	7698,3	-	-	8979,07	-	-	3281,1	-	-	832,81	-	-	1086,21	-	-	686,51	-	-	1492,88	-	-
pH	1,92	-	-	3,29	-	-	2,26	-	-	3,0	-	-	7,60	-	-	6,80	-	-	4,60	-	-
T ^с , С	78	-	-	65	-	-	45	-	-	90	-	-	78	-	-	59	-	-	25	-	-
Дата отбора	VI 1964			VII 1964			VII 1964			VIII 1964			VIII 1964			VIII 1964			VIII 1964		

Пробы (1-7): 1 - Западное сольфатарное поле; 2 - Термальный участок 1; 3 - Термальный участок 4; 4 - Бурлящий котел. Термальный участок I; 5 - Гейзерный котел. Термальный участок II; 6 - Термальный участок IV; 7 - Термальный участок IV;

Пробы 1-3 анализировались в химической лаборатории Института вулканологии СО АН СССР Е.Фильковой; 4-7 - в химической лаборатории Камчатского ГУ В.С. Цыганковой;

Определение свободного углекислого газа во всех пробах произведено в поле В.Я. Чемурако.

Поверхностные и подземные воды, дренирующие лавы и спекшиеся туфы, почти нейтральные с гидрокарбонатно-хлоридносульфатным анионы и кальциево-натриево-магниевым катионным составом. Их минерализация зависит от продолжительности циркуляции среди вмещающих пород и обычно не превышает 0,2–0,4 г/л. Холодные воды, омывающие рыхлые туфы, обладают более высокой минерализацией, доходящей до 1,1 г/л. Их pH обычно низкий и опускается даже до 1,5. В анионном составе резко преобладает сульфат, среди катионов, помимо других компонентов, присутствуют алюминий и железо. В связи с низким pH гидрокарбонатный ион в растворе диссоциирует с выделением свободного CO₂. Содержание последнего в отдельных случаях достигает 3 г/л и в среднем в 5–10 раз выше, чем в водах, дренирующих массивные породы.

Влияние магматических газов выражается в создании аномалии повышенных температур и в растворении части их компонентов в водах, становящихся термальными. По В.В.Иванову (1956, 1965), воды, дренирующие высокотемпературные неотфильтрованные фумарольные струи, являются сильноокислыми, хлоридными, а омывающие отфильтрованные вулканические газы – слабоокислыми сульфатными.

Влияние морской воды и солевого состава морских осадков наиболее заметно на источники, приуроченные к фундаменту острова, и выражается в обогащении вод ионами Na⁺ и Cl⁻. В относительно незначительной степени этот фактор, как указано выше, сказывается на составе вод склонов вулканов.

Ниже рассмотрим взаимодействие этих трех факторов при формировании термальных вод о. Шиашкотан.

На вулкане Кунтоминтар пробы нами отобраны непосредственно из термальной источника и из Кратерного ручья на сольфатарном поле. Термальная вода сильноокислая, высокоминерализованная, хлоридно-сульфатная кальциево-алюминиевая. Тот факт, что непосредственно у выхода источника отмечаются газовыделения, свидетельствует, что химический состав воды обусловлен в первую очередь растворением компонентов магматических газов. В пользу этого свидетельствуют также весьма близкие значения pH и соотношения между катионами в термальной воде и в искусственном конденсате сольфатарных струй. Катионный состав вод формируется, по-видимому, за счет выщелачивания основных компонентов вмещающих пород. Горячие источники подобного состава встречаются на многих действующих вулканах Камчатки и Курильских островов на термальных полях, где питающие их фумарольные газы не отфильтрованы подземными водами.

В формировании состава вод Кратерного ручья принимают участие горячие источники и атмосферные воды. Соотношение между этими компонентами по временам года изменяется, все же практически всегда преобладает второй фактор.

Формирование гидротерм подножия экстрезивного купола вулкана Синарка обязано главным образом растворению в инфильтрационных и поверхностных водах газовых компонентов, выделяющихся порода-

ми купола. Состав их хлоридно-натриевый. Ниже по склону вулкана химизм - хлоридно-сульфатный натриево-алюминиево-щелочноземельный и, по-видимому, в значительной мере обусловлен выщелачиванием гидротермально измененных вмещающих пород.

На Северо-восточном поле Синарки выделяются два основных типа термальных вод, отличающихся кислотностью и анионным составом: 1) кислые хлоридно-сульфатные; 2) почти нейтральные или слабощелочные хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные. Среди катионов везде преобладают щелочные и щелочноземельные ионы.

К первому относятся воды Бурлящего котла. Их химизм определяется главным образом существенным содержанием высококислых компонентов SO_2 и HCl в составе сольфатарных газов. Воды ручейков, впадающих в "котел", поверхностные снежниковые или дождевые, собираются с незначительной площади, ввиду чего почти нейтральные и слабоминерализованные.

Ко второму типу относятся все остальные гидротермы поля. Своеобразие их химического состава объясняется следующим:

1. Холодные воды, становящиеся термальными, снегового или дождевого происхождения до попадания в поля повышенных температур дренируют в основном неизменные лавы и спекшиеся туфы, в силу чего мало обогащаются сильными кислотами и характерными для кислых вод катионами (Al^{+++} , Fe^{+++} и др.).

2. Сольфатары поля маломощные, фильтруются подземными водами и содержат кислые компоненты в крайне незначительных количествах. Поэтому они лишь подогревают поверхностные и грунтовые воды, почти не изменяя их химического состава. Почти нейтральная или даже слабощелочная реакция вод объясняется быстрой потерей CO_2 раствором в связи с повышением его температуры на термальном поле.

Минерализация прибрежных горячих источников Шиашкотана варьирует от 0,4 до 15,8 г/л, при этом отмечается, что максимальных значений она достигает в водах источников, расположенных в непосредственной близости от уреза воды моря при отливе, или на недалеком вдающихся в море небольших полуостровах - дайках (Водопадные - 15,8 г/л), а минимальных - на источниках, выходящих дальше от береговой линии и затопляемых обычно лишь в период сильных штормов (источник Башмачной группы - 1, в табл. 20 - 0,4 г/л). Уже этот факт наталкивает на мысль о воздействии морской воды на минерализацию источников. Этот вывод как будто бы подтверждается также рядом других данных, наиболее существенные из которых следующие.

1. Примерно одинаковые химические составы морской воды и горячих источников. Исключение составляет лишь упомянутый источник из Башмачной группы (1 в табл. 20), в составе вод которого отмечается повышенное содержание сульфата, гидрокарбоната, магния и кальция.

2. Минерализация горячих источников прямо пропорциональна содержанию в их водах ионов хлора и натрия - основных компонентов

морской воды. Содержание прочих компонентов примерно одинаково во всех источниках.

3. Отношения ионов Br^-/Cl^- и Na^+/Cl^- в горячих источниках равны 0,0013–0,0015 и 0,84–0,88, т.е. близки к таковым в морской воде (0,0015 и 0,85). Лишь в упомянутом источнике Башмачной группы – Na^+/Cl^- выше средней величины и равно 1,2.

4. Приуроченность выходов источников к приливно-отливной полосе. Источники значительную часть суток заливаются морской водой и несомненно, что морская вода проникает в подводящие тепло трещины.

Приведенные факты позволяют предположить, что химизм прибрежных горячих источников о. Шиашкотан обусловлен в первую очередь прямым или косвенным влиянием солевого состава морской воды. Но прибрежные горячие источники Шиашкотана не являются абсолютным аналогом морской воды не только по степени минерализации, но и по соотношению между химическими компонентами. Среди основных элементов в гидротермах отмечается относительно повышенное содержание ионов K , Ca , Cl , HCO_3 и пониженное Mg и SO_4 . Содержание бора обратно пропорционально минерализации термальной воды. Концентрация большинства малых компонентов в горячих источниках обычно на несколько порядков выше, чем в морской воде. Следовательно, в формировании гидротерм помимо солевого состава морской воды принимают участие и другие факторы. Если предположить, что формирование солевого состава горячих источников происходит путем простого разбавления (без химического взаимодействия) в морской воде компонентов этих "других факторов", то последние суммарно должны отличаться от морской воды более низкой минерализацией и большим преобладанием Cl^- над SO_4^{--} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ над $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$; при этом отношение ионов $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ и иногда K^+/Na^+ должно быть выше, чем в морской воде. Это предположение может быть правомочным лишь, если образование гидротерм происходит в приповерхностных условиях и тем самым исключается возможность длительной подземной циркуляции высокотемпературных вод, следовательно, их взаимодействия с вмещающими породами. Нам кажется оно не лишено основания, ибо в противном случае (т.е. при глубоководном формировании вод) практически необъяснимым остается факт резкой зависимости степени минерализации и солевого состава горячих источников от дальности их выхода от приливно-отливной полосы.

Упомянутые "другие факторы" теоретически могут быть:

а) гидротермы, формирующиеся на сольфатарных полях вулканов и разгружающиеся в приливно-отливной полосе после длительной подземной циркуляции;

б) подземные холодные минерализованные воды со склонов вулканов, разгружающиеся в прибрежной зоне в районах повышенных температур;

в) восходящий поток "перегретой воды", смешивающейся с морской водой в зоне разгрузки.

Первое и второе предположения практически исключаются, ибо в районах распространения горячих источников береговые обрывы сложены неогеновыми (?) вулканогенно-осадочными отложениями, служащими водоупорными горизонтами для подземных вод склонов вулканов. В частности, в районе м. Башмачного выходы подземных (холодных) вод прослеживаются в уступе берега на высоте 50-70 м над ур.м. в виде почти непрерывной линии на расстоянии до 4 км. Иначе подземные воды склонов вулканов разгружаются в береговых обрывах, а не в приповерхностной зоне приливно-отливной полосы. Подземные воды склонов вулканов даже теоретически не могут попасть в районы Закатных и Дробных источников, выходящих в прибрежной зоне перешейка Макарова.

Следовательно, практически возможно лишь третье предположение. Тот факт, что горячие источники приурочены к береговым обрывам, имеющим почти прямоугольные очертания и часто сложенным гидротермально измененными породами, и к дайкам наталкивает на мысль, что источник восходящего "перегретого потока" глубинный и разгрузка этих потоков производится в месте пересечения очерчивающих побережье острова разломов с трещинными зонами, обусловленными внедрением даек. В пользу глубинного, магматического, генезиса восходящего "перегретого потока" говорят такие факты.

1. Отмечающиеся в ряде случаев (например, на Закатных источниках) совместные выходы горячей воды и углекислого газа. Магматический генезис последних на гидротермальных полях областей современного вулканизма не вызывает сомнения у большинства гидрогеологов.

2. Особенности химизма гидротерм, а именно высокая концентрация в горячих источниках типичных вулканических компонентов - аммиака, бора, которые встречаются в морской воде и холодных грунтовых и подземных водах вулканов в сравнительно меньших количествах.

3. Приуроченность большинства выходов источников к трещинам в дайках или на контакте даек с вмещающими породами.

Передача тепла только кондуктивным способом (без участия переноса тепла ювенильными газами) и, следовательно, формирование химического состава инфильтрационных вод только за счет выщелачивания вмещающих пород практически исключаются. В противном случае необъяснимыми остаются следующие особенности химизма перегретой воды.

1. Резкое преобладание в "перегретой воде" ионов хлора над сульфатом. Во вмещающих вулканических породах, судя по водным вытяжкам пеплов (Башарина, 1958), отмечается обратное соотношение. Нами на склонах вулканов острова не был встречен ни один холодный подземный или грунтовый источник с основным анионом хлора.

2. Преобладание щелочей среди катионов. В холодных грунтовых и подземных водах щелочные элементы среди катионов играют второстепенную роль.

В случае достоверности всех вышеприведенных суждений температура теплоиспускающего очага должна быть выше $360-500^{\circ}$ по аналогии с температурой, при которой из пород базальтового побочного кратера Ключевского вулкана и андезитового купола Суеличи среди летучих резко преобладают хлор и щелочные элементы (Башарина, 1961).

Температура вод источников в приповерхностной зоне, по-видимому, выше 100° , о чем свидетельствует высокое содержание в источниках кремнекислоты, концентрация которой, по мнению большинства исследователей, пропорциональна температуре раствора.

Таким образом, генезис горячих источников прибрежной полосы Шиашкотана нам представляется следующим. Непосредственно в районах источников на какой-то глубине находятся горячие магматические тела. Остывая, они выделяют газосодержащие пары, которые на пути к дневной поверхности частично конденсируются и дают начало "восходящим перегретым потокам". В химическом составе последних резко преобладают ионы хлора и щелочных элементов. Соединения серы и углерода в раствор не входят, а продолжают циркулировать в виде газов, главным образом сероводорода и углекислого. Горячие источники возникают в результате перемешивания в близповерхностной зоне восходящего перегретого потока и инфильтрационных вод. В зависимости от генезиса последних создается тот или иной состав гидротерм. В приливно-отливной полосе инфильтрационные воды обычно морского происхождения, поэтому источники характеризуются исключительно высокой минерализацией и составом, близким к морской воде. Источники, выходящие на расстоянии нескольких десятков метров от уреза моря (проба № 1, табл. 18) слабоминерализованные хлоридно-сульфатные щелочно-щелочноземельные. Следовательно, инфильтрационные воды, принимающие участие в их формировании, сульфатно-щелочноземельные, не морские, а атмосферные, дренирующие поля гидротермальноизмененных пород (см. табл. 21). Вполне вероятно, что некоторая часть сульфатного аниона этих гидротерм создается в результате частичного или полного окисления H_2S до SO_2 . Окислительный потенциал здесь, по-видимому, выше, чем в зоне распространения затопляемых источников.

Поднятие газосодержащего пара от глубинного источника к дневной поверхности осуществляется по трещинной зоне очерчивающих побережье острова разломов и особенно по трещинам в месте пересечения этих разломов с дайками.

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА ЭКАРМА

Источники расположены на берегу океана, у подножия северного склона вулкана Экарма, между мысами Лютым и Моховым. Они впервые обнаружены капитаном Д. Сноу (1902), который посетил о. Экарма в 1885 г. Позднее они упоминаются в работе А. И. Соловьева (1947). Первое более или менее подробное описание источников дано Е. К. Мархининым и Д. С. Стратулой в 1962 г.

Таблица 21

Химический состав термальных вод островов Экарма (1) и Ушишир (2)*

Компоненты	1			2		
	мг/л	мг-экв	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
NH_4^+	0,8	0,04	0,15	0,8	0,04	0,01
Na^+	270,7	11,77	12,69	8413,4	365,80	81,02
K^+	45,8	1,17	4,24	977,1	24,99	5,53
Ca^{++}	80,1	4,00	14,51	1117,4	55,76	12,35
Mg^{++}	128,8	10,59	38,41	59,9	4,93	1,09
Σ катионов	526,2	27,57	100,00	10568,6	451,52	100,0
Cl^-	368,8	10,40	37,72	15822,2	446,2	98,82
SO_4^{--}	458,3	9,55	34,64	255,5	5,32	1,18
HCO_3^-	464,8	7,62	27,64	-	-	-
Σ анионов	1291,9	27,57	100,00	16077,77	451,52	100,00
H_2SiO_3	168,6			271,1		
HVO_2				336,1		
Минерализация	1986,7			27253,5		
pH	6,18			3,5		
T, °C	40			86		

* Аналитик Н.В. Воронкова

Термальные источники о. Экарма приурочены к береговому обрыву высотой около 8 м, сложенному грубым вулканогенно-кластическим материалом, и выходят на протяжении нескольких десятков метров. Обрыв почти весь зарос мхами и теплолюбивыми водорослями. Местами он окрашен в красный цвет выпадающими из термальной воды гидроокислами железа. Термальная вода пробивается из трещин в породе. Дебит отдельных выходов до 1 л/сек. Температура до 40°C, pH = 6,2. Минерализация 1,99 г/л (данные на 27. VII 1962 г.). Общий дебит источников превышает 20 л/сек. Химический состав гидротерм приведен в табл. 21.

ОСТРОВ ЧИРИНКОТАН

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА ЧИРИНКОТАН

Источники расположены в кратере вулкана. Упоминание об этих источниках имеется в работах Г.С. Горшкова (1957, 1958) и Г.В. Корсунской (1958).

Вулкан образует остров диаметром около 3 км. Высота вулкана 724 м. Весь конус расчленен широкими и глубокими эрозийными долинами и засыпан пирокластическим материалом. На вершине вулкана имеется широкий кратер диаметром около 1 км и глубиной

300–400 м, открытый к юго-востоку (рис. 16, 23). В береговых обрывах с восточной стороны острова обнажаются потоки лавы андезитового и, по-видимому, дацитового состава. На дне кратера и местами на склонах вулкана залегают мощные толщи пепла.

По краям кратера наблюдаются фумаролы. По неровному дну кратера протекают горячие ручьи, местами имеются теплые озера. Вода в озерах, очевидно, "сернистого" состава.

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА МАТУА

СОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ПИК САРЫЧЕВА

Пик Сарычева – один из наиболее активных вулканов Курильских островов.

Правильный конус его высотой 1497 м и диаметром около 6 км формирует северо-западную часть о. Матуа. Склоны конуса расчленены баранкосами, начинающимися немного ниже вершины вулкана. Прикратерная часть очень крутая, ниже склоны становятся более пологими.

Верхняя часть вулкана засыпана толстым слоем лапилли и бомб; у подножия – мощные накопления отложений раскаленных агломератовых потоков. Сохранившаяся часть соммы покрыта в верхней части пирокластическими продуктами юного конуса, амфитеатр полукальдеры целиком заполнен действующим конусом.

Кратер вулкана представлял собой в 1960 г. глубокий колодец с почти отвесными стенами диаметром порядка 200–300 м и примерно такой же глубины (Мархинин, 1964). Кромка кратера неровная: наиболее высокая в юго-восточной части, наиболее низкая – в северо-западной.

Слабая фумарольная деятельность отмечается на дне, стенках и кромке кратера, а также на агломератовом потоке, образовавшемся во время извержения в 1946 г. или 1930 г. около южного берега острова. Температура выходов парогазовых струй здесь 70° (9 октября 1960 г.). Конденсат струй имеет $\text{pH} = 4,5$, в нем содержится $0,041 \text{ г/л Cl}^-$ и $0,61 \text{ г/л SO}_4^{--}$.

На толще агломерата в северо-западной части острова (образовавшегося, вероятно, также в 1946 г. или 1930 г.) сохранились только следы недавно угасших фумарол.

ГОРЯЧИЕ ИСТОЧНИКИ ОСТРОВА РАСШУА

Сведения об этих источниках приведены капитаном Сноу. Он пишет: "На западной стороне Расшуа, почти в $3\frac{1}{2}$ милях от южного мыса, температура горячего источника более $+35^{\circ}\text{R}$ ¹. Он пробивается у подошвы одного из высоких утесов и протекает по гряде плоских камней, где много расщелин и впадин величиной с ванну добрых

¹ $35^{\circ}\text{R} = 44^{\circ}\text{C}$.

размеров. Эти впадины всегда наполнены горячей водой и представляют собой прекрасные места для купания... Вода источников чиста, не имеет ни вкуса, ни запаха и не обесцвечивает камней, над которыми протекает".

По-видимому, источники о. Расшуа близки береговым источникам о. Шиашкотан.

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ОСТРОВА УШИШИР

Сольфатарная деятельность сосредоточена на юго-восточном песчаном берегу Кратерной бухты о. Янкича. Она приурочена к воронке взрыва, возникшей, вероятно, в период образования внутрикратерных куполов и служащей отдушиной для вулканических газов магматического очага.

Первое описание сольфатарной деятельности острова дано сотником Черным, исследовавшим Курильские острова в 1766-1769 гг. Он писал: "... около бухты низменное место, на котором накапливается сера, горячая; по краю бухты у самого берега два ключа выходят из-под земли, которые весьма горячи, кипят и серы горячей имеют довольно, и когда в ночное время молодые топорки через ключи летят в море, то от горячести их и от серного запаха падают в них и изопревают вскоре и остается одно их перье...", от серы "воздух заражается, а из-под земли бывает безмерный жар с великим звуком". Позднее характеристика термальных ключей о. Ушишир была дана капитаном Сноу (1902): "На Ушишире кипящий ключ внутри кратера, на юго-восточной стороне. Здесь у подошвы гор местность становится шире, образуя плоскую поверхность, на которой образовалась насыпь сернистой земли. Из созданных фумаролами трещин идет пар. Вокруг трещин ярко-желтые, похожие на муку, осадки серы.

Вблизи них и лишь несколько футов над уровнем моря источники из кипящей смеси воды и ила. Горячая вода течет небольшим ручейком в бассейн кратера. Вода пахнет и сильно отдаёт на вкус серой".

В настоящее время сольфатарное поле имеет форму трапеции, вытянутой вдоль берега в северо-северо-восточном направлении. Ее длина 150 м, ширина 70 м в южной части и 30 м в северной. Наиболее активна южная часть поля. Здесь в 30-40 м от берега в открытой к западу депрессии диаметром 30 м и глубиной 2-2,5 м сосредоточены мощные фумаролы и выходы горячих источников. Газы выходят под большим давлением из отверстий с диаметром до 5-7 см. Их температура 100-102°. Некоторые фумаролы имеют серные конусы высотой до 70 см. В гипсометрически наиболее низких местах газы выходят в котлообразных углублениях, обусловленных разложением окружающих пород. Диаметр котлов 30-40 см, иногда до 3 м, глубина всех почти одинаковая - 0,5 м. Часть котлов превращена в бурлящие сточные озера (лужи). Вытекающая из них вода в пределах депрессии собирается в один ручей, впадающий

в бухту. Дебит ручья 7–10 л/сек. Температура воды 85–87°, pH = 3,5–4, общая минерализация – 27,25 г/л.

В приливно-отливной полосе в южной части поля отмечены два горячих источников. Их дебит до 3 л/сек, минерализация воды 16,70–25,70 г/л, температура 35–50°, pH = 5–6.

К северной части сольфатарного поля приурочена лишь слабая фумарольная деятельность. Парогазовые выделения сосредоточены в 10–15 м от берега на 2,5–3-метровой таррасе. Температура газов 98–100°. Они спокойно выделяются из трещин. Сера отлагается в незначительных количествах на стенках трещин желтыми игольчатыми кристаллами.

В 200–250 м к северу от сольфатарного поля в приливной полосе отмечен горячий источник в виде струйки воды, выбрасываемой вертикально на высоту до 70 см из отверстия с диаметром 0,5 см. Температура воды 55°, pH = 6, дебит 0,5 л/сек, общая минерализация 25,7 г/л.

Химический состав вод горячих источников сольфатарного поля натрово-хлоридный (табл. 21).

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА КЕТОЙ

Гидротермы о. Кетой кратко описаны Е.К. Мархининым и Д.С. Стратулой (1963 г.), К.К. Зеленовым (1961). Упоминание о них имеются в работах Г.С. Горшкова (1954, 1957, 1958, 1967) и Г.В. Корсунской (1958).

Большую часть острова занимают остатки древнего кальдерного вулкана. Гребень кальдеры сохранился только в северо-восточном секторе, где его высота достигает 720 м. В этой же части сохранился и пологий склон древнего вулкана, ограниченный со стороны океана 100-метровыми обрывами.

Диаметр древней кальдеры примерно 5 км. В северо-восточной части соммы, приблизительно в центре острова, поднимается вулкан Палласа (1000,2 м). Часть более старого его конуса сохранилась только на юго-западе; открытый к северо-востоку амфитеатр полностью заполнен несколько более низким внутренним южным конусом. Склоны вулкана Палласа, изборожденные барранкосами, почти до низа к северу и северо-востоку покрыты пирокластическими отложениями. На северном склоне южного конуса курятся мощные фумаролы, расположенные линейно. Южная часть острова сложена базальтами, прорванными многочисленными дайками основных пород.

Кратер внутреннего конуса вулкана Палласа имеет диаметр порядка 400 м и глубину не менее 100 м. На дне кратера покоится теплое озеро Глазок диаметром 300 м с изумительно красивой бирюзовой окраской воды.

Северо-западную часть острова формирует более молодая центральная постройка высотой 1172 м (вулкан Кетой). Восточная часть центральной постройки интенсивно эродирована, и каких-либо вулканических форм не сохранилось: кратер также полностью разрушен, а северо-западная часть конуса (она вместе с древней по-

стройкой разбита серией продольных сбросов по отношению к простиранию дуги), с сольфатарным полем с абсолютными отметками 450–500 м над ур. м. Оно имеет форму треугольника с вершинами, направленными на север, юго-запад и восток. Площадь поля около 20 тыс.м². С трех сторон поле окаймлено обрывистыми стенками – с юго-востока высотой более 100 м, с востока, северо-востока и запада, юго-запада – около 50–60 м. К юго-западу оно переходит в глубокое ущелье, протягивающееся до берега моря. В это ущелье со склонов вулкана стекают атмосферные воды, образующие речку Горчичную с дебитом в устье примерно 100 л/сек (название речки дано Е.К.Мархиным в соответствии с цветом ее воды). Породы поля сильно изменены, обелены и обогащены серой.

Гидротермальная деятельность проявляется в виде парогазовых струй и горячих источников. Температура газов 110° (здесь и далее все данные приводятся по замерам на 9/VIII 1962 г.).

Некоторые парогазовые струи вырываются с большим давлением, далеко отбрасывая камешки, брошенные в устье. Вокруг фумарол обычно отлагается сера, однако ее скопления не столь значительны, как в кратере Кунтоминтара.

Горячих источников много. Они характеризуются незначительным дебитом (менее 1 л/сек), высокой температурой (85–90°) и кислой реакцией (рН = 3–3,5). В нижней части поля воды источников, сливаясь, образуют несколько ручьев, впадающих в речку Горчичную. Общий дебит ручьев – 15 л/сек, температура воды – 85°С, рН = 4, минерализация 1,084. В речке Горчичной, несколькими метрами ниже места впадения в нее горячих источников, температура воды равна 40°С, рН=5, минерализация – 1,60 г/л. Буроватый цвет воды объясняется наличием взвешенных частиц соединений железа, выпавших из раствора в связи с повышением рН.

На острове имеются также гидротермальные проявления, связанные с сольфатарами вулкана Палласа.

К.К.Зеленов (1961) упоминает о безымянной речке, выносящей в Охотское море значительное количество растворенного алюминия. Речка берет начало в кальдере вулкана Палласа и заканчивается 30-метровым водопадом, низвергающимся в море в северной части острова. К.К.Зеленов пишет: "Фумарольное поле на вершине вулкана Палласа, отличающееся весьма мощными выходами газовых струй, характеризуется в то же время незначительной гидротермальной деятельностью: формирующиеся на нем мелкие горячие источники, с рН=1 по суммарному дебиту, вероятно, не превышают одного литра в секунду. Эти воды просачиваются в толщу рыхлого пирокластического материала, интенсивно растворяют железо и алюминий и постепенно смешиваются с атмосферными водами, насыщающими толщу пирокластиков на склонах вулкана. В конце концов концентрация водородных ионов понижается до рН=4, железо выделяется в виде лимонитовой взвеси и отфильтровывается, лимонитизируя пирокластический материал, а алюминий, оставаясь в растворе, продолжает свое движение к морю. В родниках, сочавшихся в верховьях потока сквозь рых-

лую массу железенных таким образом склонов оврагов, содержится около 75 мг/л алюминия".

В воде у водопада определено 18 мг/л алюминия, рН=5, что при дебите 2 м³/сек составляет около 3 т/сут. Железо в этой же воде составляет всего 0,7 мг/л (0,1 т/сут).

ГИДРОТЕРМЫ ОСТРОВА СИМУШИР

ИСТОЧНИКИ ГОРЫ ИКАНМИКОТ

Источники находятся на восточном берегу о. Симушир, у подножия горы Иканмикот (см. рис. 1). В.В. Иванов (1955) со ссылкой на Г.В. Корсунскую указывает, что источник находится на пляже, в 1,3 км к югу от устья ручья, к северу от горы Иканмикот. Краткие сведения об этом источнике имеются в работах Г.В. Корсунской (1956, 1958).

Гора Иканмикот (645,2 м) является центральным конусом потухшего вулкана сложного типа. С восточной стороны гора срезана почти отвесным обрывом. В стене обрыва врезаны узкие русла временных потоков, оканчивающихся у подножия обломочно-щебнистыми конусами выноса. Здесь же вблизи приливной зоны Тихого океана просачивается слабый источник с теплой водой. Вода не обладает ни запахом, ни особым вкусом, в прилив она смешивается с водой океана (Г.В. Корсунская, 1958).

Температура воды источника (по В.В. Иванову) 37°С.

ГИДРОТЕРМЫ КАЛЬДЕРЫ ЗАВАРИЦКОГО

Источники расположены на берегу оз. Бирюзового в кальдере Заварицкого на о. Симушир.

Впервые краткие сведения об этих источниках были получены от С.И. Трубенко и В.В. Бочкарева, осматривавших кальдеру Заварицкого в 1946 г. (А.И. Соловьев, 1947).

В 1947 г. район кальдеры посетила Г.В. Корсунская, упоминавшая в своих работах о группе фумарол и горячих источниках юго-западной части оз. Бирюзового (1956, 1958).

Кальдера Заварицкого представляет собой двойную котловину. В ее строении участвуют две соммы и центральный конус с внутренней кальдерой. Длина последней 3,5 км, ширина в северной части 2,5 км, в южной 1-1,5 км. Полностью замкнутый гребень края кальдеры имеет абсолютную высоту 280-480 м. В строении кальдеры участвуют в основном пемзовая пирокластика, а также лавы различного состава - от дацитов до базальтов.

На дне кальдеры расположено оз. Бирюзовое с минеральной водой. Глубина кальдеры от высшей точки более 500 м, глубина озера до 75 м. Площадь озера 3,5-4,0 км² (Г.С. Горшков, 1952, 1960). Озеро питается поверхностными водами, которые собираются с площади 25 км² и не имеет поверхностного стока. Уровень озера устойчиво превышает уровень океана на 40 м, что позволяет

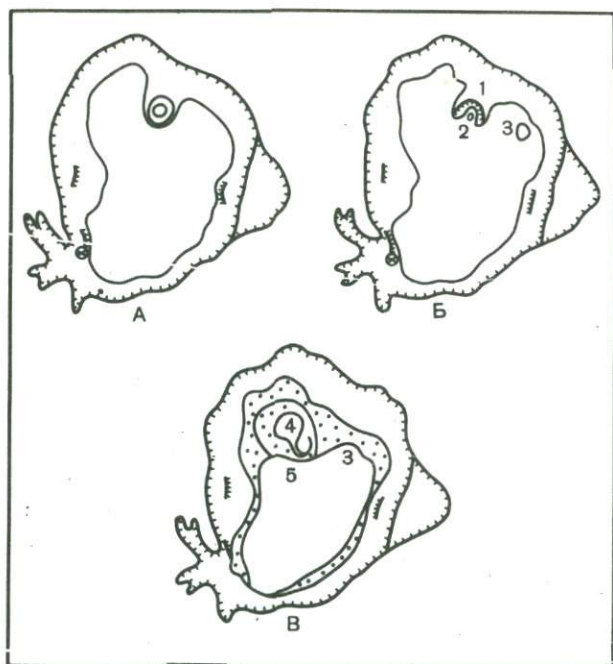


Рис. 17. Схема изменений в кальдерном озере вулкана Заварицкого (Г.С.Горшков, 1960)

А - по карте 1916 г.; Б - после образования восточного купола; В - после извержения 1957 г.; 1 - шлаковый конус; 2 - маленький купол извержения 1920-х годов; 3 - купол извержения 1920-х годов; 4 - купол 1957 г.; 5 - поток 1957 г.

говорить об отсутствии между ними связи (К.К.Зеленов, 1960). Очертания озера и положение уровня воды во времени сильно меняются (рис. 17).

В ноябре - декабре 1957 г. в кальдере Заварицкого происходило извержение, наблюдавшееся и изучавшееся Е.К.Мархининым. В результате извержения 1957 г. на северном берегу озера образовался шлаковый конус и экструзивный купол, а уровень воды в озере упал на 6-8 м. Вода в озере в целом холодная, но вблизи выходов горячих ключей с поверхности теплая.

К июлю 1959 г. уровень озера понизился еще на 1,8-2,0 м. Обнажившаяся часть дна озера была покрыта желто-коричневым налетом лимонита. Прозрачность воды уменьшилась, цвет ее стал густым масляно-зеленым (К.К.Зеленов, 1960).

На берегу оз. Бирюзового имеется два фумарольных поля. Одно из них находится в юго-западной части озера, к нему приурочена Юго-Западная группа термальных источников. Второе образовалось после извержения 1957 г. на северном берегу озера, с ним связана Северная группа источников.

Юго-Западная группа

Фумарольное поле, с которым связаны горячие источники, находится на юго-западном берегу озера. "Паровые струи пробиваются через озерные отложения. Наиболее сильные фумаролы сосредоточены на небольшой возвышенной площадке (20 × 20 м), сильно прогретой, температура песка на ней 90°C. Отвесная стена кальдеры в этом месте нависает над берегом, образуя подобие грота, из стен которого парят небольшие фумаролы. Возгонов очень мало. На дне озера у самого берега местами расположены выходы газов, "пробулькивающих" через воду и нагревающих ее (И.И.Товарова, 1960). Здесь же имеется два горячих источника, содержащих серу, осаждающуюся на дне озера. У места выхода горячих вод имеются налеты солей. Температура воды 70–80°C.

Озеро в районе горячих ключей не замерзает на участке до 100 м в поперечнике. Г.В.Корсунская пишет, что около источников "края кратера значительно понижаются, и к озеру, хотя и с трудом, но можно спуститься и искупаться в теплой воде".

Е.К.Мархинин (1960) со слов очевидцев приводит интересную деталь: за несколько месяцев до начала извержения в 1957 г. интенсивность газопаровых струй и горячих источников Юго-Западного поля заметно убыла.

Северная группа

В результате извержения 1957 г. на северном берегу оз.Бирюзового произошли большие изменения. Северная часть озера оказалась засыпанной продуктами извержения. Площадь озера уменьшилась. Образовался новый экструзивный купол диаметром около 300 м и высотой 10 м. "По границе между монолитным телом купола и брекчиевой корой, окружающей его подножье, поднимаются дымки фумарол" (Г.С.Горшков, 1960).

И.И.Товарова (1960) приводит в своей работе следующее описание Северного фумарольного поля.

Таблица 22

Состав газов фумарол (в объемных процентах)

Место отбора пробы	Температура, °С	Пары воды	Воздух	Кислые пары	В том числе *	
					CO ₂	SO ₂
Северная группа, Кап-тированная фумарола на куполе, И.И.Товарова (1960 г.)	87,0	90,0	9,85	0,15	0,14	0,01
Юго-Западная группа фумарол, И.И.Товарова (1960 г.)	99,5	92,8	6,15	1,05	-	-

* Сероводород не обнаружен.

Таблица 23

Состав газов фумарол (в объемных процентах)

Место отбора пробы	CO ₂	CH ₄	H ₂	N ₂ + редкие	O ₂
Оз. Бирюзовое. Проба газа, проходящего через воду озера. И.И.Товарова (1960 г.)	64,98	1,14	0,00	13,88	0,0

Таблица 24

Анализы конденсатов газов Юго-Западной и Северной групп источников

Группа	Юго-Западная группа. Автор обследования И.И.Товарова (1960 г.); pH=5,62			Северная группа. Купол. Автор обследования И.И.Товарова (1960 г.); pH=5,48		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	31,15	1,354	41,84	58,6	2,547	37,20
K ⁺	23,23	0,594	18,10	48,13	1,231	17,90
NH ₄ ⁺	7,0	0,387	11,82	1,0	0,055	0,80
Ca ⁺⁺	2,85	0,142	4,34	7,86	0,392	5,70
Mg ⁺⁺	2,52	0,207	6,32	0,72	0,059	0,84
Fe ⁺⁺	10,87	0,390	11,92	66,80	2,39	34,92
Fe ⁺⁺⁺	0,72	0,025	0,78	0,23	0,008	0,10
Al ⁺⁺⁺	1,58	0,175	5,38	1,58	0,175	2,54
Σ катионов	79,92	3,274	100	184,92	6,357	100
Cl ⁻	35,0	0,987	30,24	35,0	0,987	14,36
SO ₄ ⁻	95,1	1,979	60,60	278,5	5,789	84,20
HCO ₃ ⁻	18,3	0,300	9,16	6,1	0,099	1,44
Σ анионов	148,4	3,266	100,0	319,6	6,875	100
H ₂ SiO ₃	6,3	-	-	5,5	-	-
Минерализация	234	-	-	510	-	-
Сухой остаток	250	-	-	494	-	-
CO ₂ своб.	2550	-	-	3150	-	-
H ₂ S	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
SO ₂	Сл.	-	-	Сл.	-	-

Вновь образовавшийся купол окружен многочисленными фумаролами. Наиболее мощная группа фумарол находится на южной стороне купола, где от него отходит лавовый поток; на потоке фумарол нет.

Многочисленные струи фумарол с силой вырываются из трещин и отверстий в теле купола, выбрасываются струи конденсирующегося белого пара. В тихую погоду пары поднимаются на высоту до 500 м.

Таблица 25

Состав воды термальных источников кальдеры Заварицкого

Компоненты	Юго-Западная группа					
	Горячий ручей					
	Автор обследования Ю.С. Желубовский (1955 г.); аналитик Т.В. Долматова; pH=6,2			Автор обследования К.К. Зеленов (VII 1958 г.); аналитик М.А. Кадакина; pH=8,4		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ } K ⁺ }	754,0	32,94	85,1	1220,61	53,07	85,77
				180,00	4,61	7,45
NH ₄ ⁺	Не обн.	-	-	-	-	-
Ca ⁺⁺	46,0	2,30	6,0	47,50	2,35	3,79
Mg ⁺⁺	6,0	0,50	1,7	20,72	1,70	2,75
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	1,50	0,08	0,13
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	0,65	0,07	0,11
Σ катионов	915,0	88,53	100	1470,98	61,88	100
Cl ⁻	1253,0	35,84	91,7	2058,37	57,98	93,69
I ⁻	Не обн.	-	-	0,25	-	-
Br ⁻	0,5	0,06	0,2	Сл.	-	-
F ⁻	-	-	-	0,2	-	-
SO ₄ ⁻	111,4	2,32	6,0	140,94	2,94	4,75
HSO ₄ ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-
NO ₂ ⁻	0,07	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	49,0	0,80	2,10	58,56	0,26	1,56
HAsO ₄ ⁻	0,8	0,01	-	-	-	-
HCO ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-
Σ анионов	1418,5	38,53	100	2258,32	61,88	100
HBO ₂	10	-	-	Не опр.	-	-
H ₂ SiO ₃	127	-	-	263,9	-	-
R ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
Минерализация	2471	-	-	3993,2	-	-
Сухой остаток	2450	-	-	3988,0	-	-
CO ₂ своб.	-	-	-	-	-	-

Особенно обильные струи паров и газов, временами почти скрывающие скалистую стену, выходят в том месте, где к южному склону купола под острым углом примыкает лавовый поток.

Склон купола и глыбы лавы покрыты здесь большим количеством желтых и белых веществ. Однако эти фумаролы были недоступны

Таблица 25 (окончание)

Компоненты	Северная группа					
	Горячий ручей у подножья купола					
	Автор обследования К.К.Зеленов (VII 1958 г.); анализитик М.А. Канакина; pH=8,4			Автор обследования И.И.Товарова (1958 г.); pH=7,57		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	1640,75	71,38	89,49	701,1	30,479	75,06
K ⁺	107,5	2,75	8,45	192,5	4,924	12,10
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	-	-
Ca ⁺⁺	75,05	3,75	4,71	90,05	4,493	11,04
Mg ⁺⁺	20,72	1,70	2,13	3,6	0,296	0,72
Fe ⁺⁺	-	-	-	0,35	0,012	0,02
Fe ⁺⁺⁺	1,66	0,09	0,11	10,87	0,39	0,94
Al ⁺⁺⁺	0,85	0,09	0,11	0,264	0,029	0,06
Σ катионов	1846,5	79,71	100	999,43	40,648	100,0
Cl ⁻	2303,29	64,95	86,24	1104,0	31,09	76,46
J ⁻	0,25	-	-	-	-	-
Br ⁻	Сл.	-	-	-	-	-
F ⁻	3,2	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻⁻	419,75	8,74	11,61	388,0	8,078	19,86
HSO ₄ ⁻⁻	Не обн.	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	98,82	1,62	2,15	91,5	1,500	3,68
HAso ₄ ⁻⁻	-	-	-	-	-	-
HCO ₄ ⁻⁻	-	-	-	-	-	-
Σ анионов	2825,3	75,31	100	1583,5	40,668	100,0
HBO ₂	-	-	-	-	-	-
H ₂ SiO ₃	455,0	-	-	392	-	-
R ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
Минерализация	126,3	-	-	2975	-	-
Сухой остаток	4816,0	-	-	3155	-	-
CO ₂ своб.	-	-	-	2350	-	-

для изучения, так как густые пары, окутывающие склон, не позволили подняться на него. Поэтому наши исследования ограничились изучением фумарол на южной стороне купола на высоте примерно 20 м. Устья фумарол представляют собой довольно правильные отверстия (несколько сантиметров в диаметре), откуда с шипением выходят струи пара, конденсирующиеся в некоторых местах на на-

Таблица 26

Состав воды Бирюзового озера

Компоненты	Автор обследования Д. Харада (9. IX 1933 г.); аналитик Коннурэ; pH=6,3,	Автор обследования Ю.С. Желубовский (1955 г.); аналитик Т.В. Долматова	Автор обследования Е.К. Мархинин (12. XII 1957 г.); аналитик Е.П. Рябчикина, T(°C)=34; pH=2,95
	мг/л	мг/л.	мг/л
Na ⁺	1152,0	757,0	-
K ⁺	-	109,0	-
NH ₄ ⁺	-	-	-
Ca ⁺⁺	111,0	46,0	151,0
Mg ⁺⁺	-	6,0	48,5
Fe ⁺⁺	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	0,05	-	13,0
Al ⁺⁺⁺	-	-	17,7
Mn ⁺⁺	0,05	-	-
Cl ⁻⁻	1160,0	1253,0	1448,4
SO ₄ ⁻	104,5	111,4	923,1
CO ₃ ⁻	21,2	Не обн.	Не обн.
HCO ₃ ⁻	-	49,0	То же
SiO ₂	58,6	96,2	-
Сухой остаток	3768,4	2450,0	4062,0

висших над ним или отвесно поднимающихся склонах купола. Многочисленные возгоны и отложения солей покрывают близлежащие скалы.

Выходы горячих паров и газов расположены также вдоль всего северного берега озера. Пузырьки газов проходят ("пробулькивают") через воду и нагревают ее до температуры 80-90°C. Бесчисленные паровые струйки поднимаются от самой кромки воды вдоль берега на протяжении до 1,5 км.

Из толщи свежих пирокластических отложений у берегов озера выходят на поверхность и впадают в него несколько маленьких горячих ручейков.

Химический состав газов фумарол, их конденсата и вод минеральных источников кальдеры Заварицкого приведен в таблицах 22-27.

Как видно из таблиц 22, 23, после извержения 1957 г. в фумаролах из вулканических газов выделяется в основном углекислота и в меньшей степени сернистый газ. Интересно отметить наличие метана.

Горячие источники оз. Бирюзового относятся к углекислым, среднеминерализованным, слабокислым, хлоридным натриевым. По содер-

Таблица 27. Состав воды Бирюзового озера

Компоненты	Северная часть озера близ купола			Северная часть озера близ купола			Центральная часть озера		
	Автор обследования К.К.Зеленов, VII- 1958 (1962 г.), аналитик М.А.Канакина; pH=4,96			Автор обследования К.К.Зеленов, VII- 1959 (1962 г.), аналитик М.А. Канакина; pH=5,09			Автор обследования К.К.Зеленов, VII- 1958 (1962 г.), аналитик М.А. Канакина; pH=4,81		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	1150,0	50,00	79,57	957,25	41,61	74,44	1059,20	46,05	74,02
K ⁺	71,25	1,82	2,90	57,50	1,47	2,63	90,00	2,31	3,71
Ca ⁺⁺	148,00	7,15	11,38	146,50	7,32	13,09	172,50	8,62	13,86
Mg ⁺⁺	23,50	1,93	3,07	51,75	4,25	7,60	37,00	3,04	4,89
Fe ⁺⁺⁺	6,56	0,35	0,56	1,03	0,05	0,09	6,36	0,34	0,55
Al ⁺⁺⁺	7,38	0,82	1,30	5,57	0,62	1,11	11,61	1,29	2,07
Al(OH) ⁺⁺	8,14	0,37	0,59	-	-	-	0,88	0,04	0,07
H ⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,17	0,17	0,27
Σ катионов	1412,6	62,84	100	1223,61	55,90	100	1380,22	62,21	100
Cl ⁻	1746,64	49,20	80,14	1515,08	42,72	79,63	1627,89	45,85	78,27
I ⁻	Сл.	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
F ⁻	3-4	-	-	-	-	-	4,0	-	-
SO ₄ ⁻	585,25	12,13	19,86	525,00	10,93	20,37	609,12	12,69	21,66
HSO ₄ ⁻	Не обн.	-	-	-	-	-	3,88	0,04	0,07
HCO ₃ ⁻	То же	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
PO ₄ ⁻	2,73	-	-	-	-	-	2,82	-	-
Σ анионов	2339,6	61,09	100	2040,08	53,65	100	2250,71	58,58	100
HCO ₂	7,18	-	-	-	-	-	4,19	-	-
H ₂ SiO ₃	260,0	-	-	274,3	-	-	261,3	-	-
Минерализация	4018,38	-	-	3538,0	-	-	3896,42	-	-
Сухой остаток	4008,0	-	-	3708,0	-	-	3816,00	-	-

Таблица 27 (окончание)

Компонент	Центральная часть озера			Южная часть озера			Южная часть озера		
	Автор обследования К.К. Зеленов, VII- 1959 (1962 г.), аналитик М.А. Канакина; pH=4,36			Автор обследования К.К. Зеленов, VII- 1958 (1962 г.), аналитик М.А. Канакина; pH=3,80			Автор обследования К.К. Зеленов, VII- 1958 (1962 г.), аналитик М.А. Канакина; pH=4,15		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	850,00	36,95	70,61	905,00	39,35	70,51	910,00	40,43	73,80
K ⁺	65,00	1,67	3,19	90,25	2,31	4,14	57,50	1,47	2,68
Ca ⁺⁺	141,15	7,06	13,49	189,50	9,47	16,97	137,57	6,88	12,56
Mg ⁺⁺	66,00	5,43	13,38	30,00	2,48	4,44	49,00	4,03	7,36
Fe ⁺⁺⁺	0,97	0,05	0,09	4,99	0,27	0,48	0,95	0,05	0,09
Al ⁺⁺⁺	7,73	0,86	1,64	9,18	1,02	1,83	9,86	1,09	1,99
Al(OH) ⁺⁺	-	-	-	0,44	0,02	0,08	-	-	-
H ⁺	0,04	0,04	0,08	0,54	0,54	0,97	0,08	0,08	0,15
Σ катионов	1132,76	52,33	100	1232,42	55,81	100	1170,19	54,78	100
Cl ⁻	1504,19	42,42	79,90	1593,26	44,88	79,74	1503,20	42,39	79,89
I ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
F ⁻	-	-	-	3,2	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻⁻	512,50	10,67	20,10	542,40	11,30	20,08	512,50	10,67	20,11
HSO ₄ ⁻	-	-	-	9,7	0,10	0,18	-	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
PO ₄ ⁻⁻⁻	-	-	-	2,73	-	-	-	-	-
Σ анионов	2016,69	53,09	100	2142,79	56,28	100	2015,7	53,06	100
HBO ₂	-	-	-	3,74	-	-	-	-	-
H ₂ SiO ₃	283,4	-	-	250,9	-	-	256,1	-	-
Минерализация	3432,85	-	-	3638,85	-	-	3442,0	-	-
Сухой остаток	3668,0	-	-	3616,0	-	-	3644,0	-	-

жанию биологически активных компонентов эта минеральная вода может быть названа углекислой, железистой, кремнистой. Кроме этого, в воде обнаружен марганец (0,7 мг/л), гидроарсенат (0,8 мг/л) и бор (HBO_2 - 10 мг/л).

Воды оз. Бирюзового в целом обладают аналогичным составом. Интересно отметить, что как воды озера, так и воды минеральных источников до извержения 1957 г. близки по составу и соотношению основных компонентов к таковым в морских водах. В них резко преобладают натрий и хлор, имеются бром и бор. Извержение изменило состав минеральных вод в ту же сторону, что и воду озера. Вода стала несколько более кислой, в ней резко увеличилось содержание сульфат-иона и появились в значительном количестве кремнекислота, алюминий, свободная углекислота, железо. Повышенное содержание трех последних легко объясняется растворением фумарольных газов. Катионный состав вод минеральных источников есть результат взаимодействия их с окружающими горными породами.

Во время извержения выделялись хлориды, сульфаты и углекислота. Когда газы попали в грунтовые приповерхностные воды, в них в первую очередь растворились хлориды, а сульфаты и углекислота просочились в атмосферу. Это видно при сравнении анализов вод минеральных источников и конденсатов фумарольных газов (табл. 24, 25). В других условиях, в случае более длительного пути газов через воду, растворяются почти нацело (кроме хлоридов) и сульфаты, и в атмосферу попадает одна углекислота. Примером являются анализы вод оз. Бирюзового и анализ газа, проходящего через воду (табл. 23, 27).

ИСТОЧНИК ГОРЫ ОБРЫВИСТОЙ

Источники расположены на пляже Охотского моря, к северу от г. Обрывистой (583,1 м), на западном берегу о. Симушир. Местоположение этих источников приведено В.В. Ивановым (1955) со ссылкой на Г.В. Корсунскую, однако неизвестно, какая из работ Г.В. Корсунской имеется в виду. В.В. Иванов указывает, что источник находится в приливной полосе, а температура его воды 90°C.

Других сведений об этих источниках нет.

МИЛЬНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники расположены на южном берегу о. Симушир, у подножья вулкана Мильна, в 0,7 км западнее м. Роллин.

Упомянуты они в двух работах Г.В. Корсунской (1956, 1958).

У потухшего вулкана Мильна сложное строение. Остатки его соммы представляют собой узкий зубчатый гребень с высотами 1026-1490 м. Кальдера вулкана имеет диаметр около 3 км, внутри ее находится центральный конус высотой 1,526 м. Кратер конуса закрыт экструзивным куполом. На склонах вулкана просле-

живаются террасовидные поверхности и уступы, представляющие собой, очевидно, задернованные языки лавовых потоков. У подножья вулкана, на берегу Охотского моря, в верховье оврага под покровом андезитовой лавы обнажаются породы фундамента — светло-серый биотитово-роговообманковый гранит.

"У южного подножья вулкана на берегу Тихого океана имеется несколько выходов горячих минеральных источников" (Корсунская, 1958). Других сведений об источниках нет.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОСТРОВА УРУП

Краткие сведения приводятся в основном по данным Б.В. Стыриковича и О.Н. Толстихина.

Представителями терм, непосредственно связанных с вулканами на о. Уруп, служат гидросольфатары вулканов Трезубец и Берга.

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ТРЕЗУБЕЦ

Расположены в верховьях ручья Серного. Связаны с интенсивной сольфатарной деятельностью.

Нисходящий источник образует на небольшом скалистом уступе мочажину, заросшую по краям осокой. Температура воды 12°C. Примерный дебит источника 0,3 л/сек. Вода кислая на вкус.

По свидетельству Г.В. Корсунской (1958), "у северного подножья вулкана Трезубец на побережье Охотского моря" выходят горячие минеральные источники. Никаких более точных сведений о местоположении горячих источников не имеется.

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА БЕРГА

Они расположены в западной части о. Уруп, в долине р. Марья, вытекающей из кальдеры вулкана Берга, в 3,3 км выше устья реки. Гидросольфатары обследованы в 1951 г. сотрудниками Геологического управления О.Н. Толстихиным. Выход на поверхность Марьянского источника, по-видимому, связан с разломами, ограничивающими грабен.

Вода вытекает из вертикальной трещины в осветленных андезитах, в отвесном уступе правого склона долины, на абсолютной высоте 450 м. В основании уступа обнаружен еще целый ряд мелких сочащихся из трещин выходов воды.

Температура воды 39°C, суммарный дебит около 5 л/сек. При впадении горячих вод в небольшую речку, а также и в устье речки, в русле ее осаждаются бурные гидроокислы железа.

Вода в речке, по данным Г.В. Корсунской (1948), имеет железистый вкус. Вода источников прозрачная, без цвета, кислая на вкус (табл. 28).

Таблица 28

Химический состав воды вулкана Берга

Компоненты	Автор обследования О.Н.Толстихин (1951 г.); аналитик Е.Г.Суворова; T(°C)=39; рН=3,0			Компоненты	Автор обследования О.Н.Толстихин (1951 г.); аналитик Е.Г.Суворова; T(°C)=39; рН = 3,0		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	309,0	13,43	21,5	I ⁻	Не обн.	-	-
K ⁺	37,0	0,95	1,5	Br ⁻	0,5	-	-
NH ₄ ⁺	1,0	0,05	0,1	SO ₄ ⁻	1861,0	38,7	62
Ca ⁺⁺	367,7	18,30	30,1	NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-
Mg ⁺⁺	303,3	24,94	40,0	NO ₂ ⁻	То же	-	-
Fe ⁺⁺	6,0	0,33	0,5	PO ₄ ⁻⁻⁻	"	-	-
Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	Σ анионов	2700,4	62,43	100
Al ⁺⁺⁺	16,0	1,78	2,9	HBO ₂	4,0		
Mn ⁺⁺	20,6	0,75	1,2	H ₂ SiO ₃	236		
H ⁺	1,4	1,4	2,2	Минерализация	4011		
Σ катионов	1071,0	62,43	100	Сухой остаток	4250		
Cl ⁻	838,9	23,66	38				

ПЕТУШКОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Они находятся на западном берегу о. Уруп, в 2 км к востоку от о. Петушкова. Обследованы в 1951 г. О.Н.Толстихиным. Выходы минеральной воды расположены в нижней части обрывистого берегового уступа, сложенного плотно сцементированными трещиноватыми туфобрекчиями и агломератами, перемежающимися с андезитами. Абсолютная отметка выхода вод 50 м.

Вода вытекает из вертикальных трещин в агломератах. На стенках трещин отлагаются окислы железа. Температура воды 10°С. Дебит отдельных струй 0,01-0,05 л/сек.

По вкусу вода напоминает выдохшийся нарзан, имеет кисловатый железистый привкус, слабо газирована, прозрачна, без запаха (табл. 29).

Петушковские источники относятся к холодным, сильно минерализованным, кислым, хлоридно-натриевым. Резко повышенное содержание в воде углекислоты (756 мг/л) позволяет назвать минеральную воду углекислой.

Высокая минерализация, хлоридно-натриевый состав вод и низкая температура указывают, видимо, на связь источника с морской водой.

Наличие свободной углекислоты и кислый состав вод являются, вероятно, следствием связи с вулканическим очагом (действующий вулкан Берга расположен в 4 км от минерального источника).

Таблица 29

Химический состав воды Петушковских источников

Компоненты	Автор обследования О.Н. Толстихин (1951 г.); аналитик И.Н. Мамонтова; T(°C)=10; pH=5,5			Компоненты	Автор обследования О.Н. Толстихин (1951 г.); аналитик И.Н. Мамонтова; T(°C)=10; pH=5,5		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	5826	253,33	85,96	Cl ⁻	8023	226,25	82,35
K ⁺	-	-	-	SO ₄ ⁻	2462	51,26	12,63
NH ₄ ⁺	3,0	-	-	NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-
Ca ⁺⁺	456	22,75	8,5	NO ₂ ⁻	То же	-	-
Mg ⁺⁺	185	15,21	5,54	HCO ₃ ⁺	841	13,78	5,02
Fe ⁺⁺	1,8	-	-	Σ анионов	11326	291,29	100
Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	Минерализация	17797		
Σ катионов	6471,8	291,29	100	защита			
				СС ₂ своб.	756,0		

ИСТОЧНИК МЫСА НЕПРОЙДЕШЬ

Источник расположен в районе м. Непройдешь, на западном берегу о. Уруп (рис. 1).

Обследован в 1951 г. О.Н. Толстихиным. Следует отметить, что А.И. Соловьев (1947) также упоминает о минерализованном серном водном потоке в районе м. Непройдешь.

Источник находится в приливно-отливной полосе. Вода вытекает из трещины в базальтах, падающей под небольшим углом на юго-восток. Отверстие имеет вид вытянутой лунки размером 1,0×0,5 м и глубиной 0,35 м. Температура воды 35°C. Вода горьковато-соленая, без цвета, без запаха, прозрачная (табл. 30).

Минеральные воды относятся к теплым, среднеминерализованным, нейтральным, хлоридно-натриевым.

Близость химического состава минеральных вод и морской воды, очевидно, и обусловлена положением источника в зоне осушки.

В табл. 31 приводятся характерные коэффициенты химического состава вод описываемого источника и морской воды.

Минеральную воду источника м. Непройдешь от морской отличают меньшая минерализация, большая кислотность, преобладание кальция над магнием и гидрокарбоната над сульфатами.

Можно предположить, что в приливно-отливной зоне моря с морскими водами смешиваются струи горячих углекислых вод, которые так часто встречаются на Курильских островах. Подтверждением этому, кроме вышечисленных отличий от морской воды, являются температура минеральной воды (95°C) и наличие свободной углекислоты (96 мг/л).

Представителями терм, не связанных с деятельностью современных вулканических построек, служат источники м. Ключевой.

Таблица 30

Химический состав воды источника мыса Непройдешь

Компоненты	Автор обследования О.Н.Толстихин (1951 г.), аналитик И.Н.Мамонтова, T(°C)=35, pH = 7,0			Компоненты	Автор обследования О.Н.Толстихин (1951 г.), аналитик И.Н.Мамонтова, T(°C)=35, pH = 7,0		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	2111	91,8	83,4	Cl ⁻	3763,0	106,12	96,36
K ⁺				SO ₄ ⁻²	42,0	0,87	0,8
NH ₄ ⁺	> 4,5	-	-	HCO ₃ ⁻	183,0	3,0	2,74
Ca ⁺⁺	249,0	12,43	11,35	Σ анионов	3988	109,99	100
Mg ⁺⁺	70,0	5,71	5,25	Минерализация	6423		
Fe ⁺⁺	Не объ.			CO ₂ своб.	96,0		
Fe ⁺⁺⁺	0,5	-	-				
Σ катионов	2435	109,99	100				

Таблица 31

Вода	Коэффициенты				
	r SO ₄ /r Cl	r Ca/r Mg	r Na/r Cl	r Cl - r Na / r Mg	r SO ₄ /r (SO ₄ + Cl)
Минеральная вода	0,008	2,4	0,87	2,2	0,008
Морская вода	0,1	0,2	0,85	0,72	0,094

ИСТОЧНИКИ МЫСА КЛЮЧЕВОЙ

Расположены на Охотском побережье о. Уруп, близ м. Ключевой.

Источники обследованы в 1951 г. О.Н. Толстихиным, а в 1963 г. Б.Н. Пискуновым.

Выходы минеральной воды находятся в нижней части берегового уступа. Уступ сложен толщей плотных туфогенных песчаников, подстилаемых хорошо сцементированными агломератами. К контакту между этими породами и приурочены источники. Всего здесь отмечено четыре источника минеральной воды. Описание их приводится в порядке с севера на юг.

Источник 1 представляет собой рассредоточенный выход холодных вод в полосе пляжа протяженностью 12 м, у подножия берегового склона. Вода сильно пахнет сероводородом, в месте выхода воды имеются белые налеты. Температура воды 8°С. Дебит источника не более 2 л/сек.

Источник 2 расположен в 300 м от первого, на уступе берегового склона, заросшего осокой. Абсолютная отметка выхода 35 м. Выходы воды непосредственно приурочены к грубообломочным осыпям. Вода кисловатая, прозрачная. Температура воды 50°C. По словам местных жителей, заметного понижения температуры зимой не отмечается. Дебит источника около 2 л/сек.

Источник 3 расположен в 600 м западнее источника 2. Абсолютная отметка выхода 8 м. Исток представляет собой небольшую нишу, в которой висят сосульки ярко-желтой серы. Вода кислая, прозрачная. Температура воды 45°C. Дебит источника около 0,2 л/сек.

Источник 4 расположен несколько южнее источника 3. Абсолютная отметка выхода 25 м. Источник восходящий. Имеются четыре обособленных истока, приуроченные к циркообразному углублению. Сток общий. Вода кислая на вкус, с запахом сероводорода, без цвета, прозрачная. На камнях у места выходов отлагаются белые выцветы солей и кристаллики желтой серы. Температура воды 52°C.

Южнее четвертого источника находится холодный источник пятый. Абсолютная отметка выхода 30 м. Вода вытекает из трещины. Она кислая, без цвета, без запаха, прозрачная.

По химическому составу воды источники первый, четвертый и пятый резко отличаются между собой (табл. 32).

Вода первого источника холодная, сильноминерализованная, нейтральная, хлоридная, натриевая. Бальнеологические качества этой воды определяются повышенным содержанием биологически активных компонентов: брома, бора, кремнекислоты.

По количеству последней минеральная вода может быть названа кремнистой.

Вода по составу соответствует морской воде, разбавленной примерно в три раза. Косвенно на состав разбавителя указывают следующие несвойственные морской воде качества смеси: 1 - нейтральная реакция, 2 - повышенное содержание кремнекислоты и 3 - запах сероводорода.

Воды четвертого источника относятся к горячим, среднеминерализованным, кислым, сульфатным, кальциево-водородным. Повышенное содержание кремнекислоты позволяет назвать минеральную воду кремнистой. Кроме того, следует отметить значительное количество в воде алюминия, железа, водорода.

Можно предположить, что горячие воды источников второго и третьего аналогичны воде четвертого источника.

Воды источника пятого относятся к холодным, слабоминерализованным кислым, сульфатным водородно-алюминиевым.

Они отличаются от вод источника 4 температурой и минерализацией, но также характеризуются повышенным содержанием кремнекислоты, алюминия, железа и водорода.

О.Н. Толстихин связывает источники м. Ключевой с очагом вулкана Трезубец. Последний расположен в 15 км к северо-востоку от

Таблица 32

Химический состав воды источников мыса Ключевой

Компоненты	Источник			
	1			4
	Автор обследования О.Н. Толстихин (1951 г.); аналитик Т.В. Долматова; T(°C)=8; pH=7,0			Автор обследования аналитики Е.П. Му = 52; pH=2,24
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л
Na ⁺	3386,0	147,23	76,0	135,0
K ⁺	140,3	3,60	1,8	12,2
NH ₄ ⁺	Не обн.	-	-	0,6
Ca ⁺⁺	162,3	8,10	4,2	139,2
Mg ⁺⁺	432,6	35,56	18,0	57,8
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	Не обн.
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	5,0
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	24,0
H ⁺	Не обн.	-	-	7,0
Σ катионов	4121,2	194,5	100	380,8
Cl ⁻	6088,5	171,75	88,2	190,9
Br ⁻	10,0	0,12	0,1	-
SO ₄ ⁻	1052,7	21,91	11,3	1094,0
NO ₃	1,5	0,02	0,01	Не обн.
NO ₂	Не обн.	-	-	То же
CO ₃	То же	-	-	-
HCO ₃	42,0	0,70	0,4	-
PO ₄ ⁻	-	-	-	Не обн.
Σ анионов	7194,7	194,5	100	1285
HVO ₂	20,0	-	-	Не обн.
H ₂ SiO ₃	86,0	-	-	200
Минерализация	11421	-	-	1855,8
Сухой остаток	11386	-	-	1588
Уд. вес	1,007	-	-	1,001
H ₂ S	Запах	-	-	Запах

источников и проявляет fumarольную деятельность. В настоящее время источник 4 используется местным населением для ванн. Для этого в основании уступа, к которому он приурочен, устроен деревянный ящик, куда стекает горячая вода. Подъезд к источникам возможен по вьючной тропе, проходящей вдоль Охотского побережья острова.

Нижеприводимое описание источников рек Половодной и Нигори дается по Б.Н. Пискунову и В.С. Знаменскому.

Источник				
4		5		
ния О.Н. Толстихин (1951 г.); пиковская, Т.В. Долматова; T(°C)=		Автор обследования О.Н. Толстихин (1951 г.); аналитик Е.Г. Суворова; T(°C)=12; pH=2,9		
мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
5,90	20,9	10,0	0,43	6,2
0,31	1,1	Не обн.	-	-
0,03	0,03	То же	-	-
6,95	24,7	26,0	1,30	18,7
4,75	16,9	10,4	0,86	12,4
-	-	Не обн.	-	-
0,26	0,92	8,0	-	-
2,67	9,5	23,0	2,50	36,0
7,2	25,5	1,4	1,4	20,2
28,18	100	78,8	6,94	100
5,38	19,1	21,0	0,60	8,7
-	-	-	-	-
22,8	80,9	304,4	6,34	91,3
-	-	Не обн.	-	-
-	-	То же	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	Не обн.	-	-
28,18	100	325	6,94	100
-	-	Не обн.	-	-
-	-	135	-	-
-	-	539	-	-
-	-	400,0	-	-
-	-	-	-	-
-	-	Не обн.	-	-

ИСТОЧНИКИ Р НИГОРИ

В левом борту р. Нигори в 200 м от устья первого левого притока вверх по долине наблюдался ряд мелких минеральных источников со слабым запахом сероводорода. Источники вытекают из каолинизированных, окварцованных пород. Вокруг источников породы целиком превращены в глиноподобную белую массу. Дебит их не установлен. Температура их порядка 40° при температуре воздуха 20°С.

ИСТОЧНИКИ Р. ПОЛОВОДНОЙ

В среднем течении р. Половодной среди серых порфиров находятся мелкие источники, приуроченные к трещиноватой зоне. Вокруг на камнях наблюдается белый налет, от воды распространяется запах сероводорода. Вкус воды кислый. Дебит источников не замерен.

В верхнем течении этой же речки на развилке из трещиноватой зоны в порфиридах наблюдается ряд теплых кислых минеральных источников с температурой 40°C и с запахом сероводорода. Из трещин выделяется совместно с водой пар, что говорит о значительной температуре близ поверхностной зоны. Окружающие породы слабо изменены и покрыты белым налетом. Вокруг распространяется запах сероводорода. Дебит не установлен.

Далее в левой развилке в 400 м от устья расположена серия холодных минеральных источников, вытекающих из трещиноватых андезитов. Окружающие породы изменены, обелены. Дебит не определен.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОСТРОВА ИТУРУИ

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В КАЛЬДЕРЕ МЕДВЕЖЬЕЙ

Связаны с постоянной сольфатарной деятельностью. Температура фумарол у северо-восточного кратера вулкана Кудрявый, по данным В.В. Бочкарева, колеблется от 100 до 300°C .

ИСТОЧНИКИ ВУЛКАНА МЕНЬШОЙ БРАТ

Источники расположены на северном и южном склонах вулкана. Северная группа источников впервые обследована в 1951 г. гидрогеологом Л.Е. Михайловым, об источниках южного склона упоминается в работе Г.В. Корсунской (1958).

Северная группа источников находится у подножия северного склона вулкана Меньшой Брат на абсолютной высоте 200 м (рис. 1).

Выходы теплых вод располагаются на берегу небольшого оз. Теплое, среди глыб андезитовой лавы.

Источники восходящие, расстояние между грифонами 8–10 м. Температура воды 34°C , ориентировочный суммарный дебит источников 5–5,5 л/сек.

Южная группа источников. О них имеются сведения лишь у Г.В. Корсунской (1958): "От южного подножия конуса почти на 3 км простирается несколько свежих на вид лавовых потоков. У конца одного из потоков горячие пресные ключи образовали небольшое озеро. Зимой оно не замерзает и поэтому здесь круглый год живет водоплавающая птица. Ручей соединяет это озерко с обширным озером Славным, ограниченным с запада стеной кальдеры в несколько сот метров высотой, а с севера и востока – заболоченной равниной и лавовыми потоками". Химический состав воды Северной группы источников приведен в табл. 33.

Таблица 33

Химический состав воды Северной группы источников

Компоненты	Северная группа. Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C) = 34; pH = 6,9			Компоненты	Северная группа. Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C) = 34; pH = 6,9		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	108	4,85	51,6	Br ⁻	113,1	2,35	25
K ⁺	1,0	0,07	0,8	SO ₄ ⁼⁼	Не обн.	-	-
NH ₄ ⁺	47,0	2,48	26,4	NO ₃ ⁻	0,1	-	-
Ca ⁺⁺	23,3	2,0	21,2	NO ₂ ⁻	-	-	-
Mg ⁺⁺	Не обн.	-	-	CO ₃ ⁼⁼	338,0	5,5	59
Fe ⁺⁺	То же	-	-	HCO ₃ ⁻	504,3	9,4	100
Fe ⁺⁺⁺	179,3	9,4	100	Σ анионов	4,0		
Σ катионов	53,1	1,50	16	HBO ₂	113		
Cl ⁻	Не обн.	-	-	H ₂ SiO ₃	800,6		
I ⁻	То же	-	-	Минерализация	608		

ИСТОЧНИКИ МЫСА ЕВГЕНИЯ

Есть сведения о минеральных источниках на Тихоокеанском побережье о. Итуруп, в 1,5 км северо-северо-восточнее м. Евгения (рис. 1).

Источники не обследованы.

РЕЙДОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Расположены на Охотском побережье о. Итуруп, в средней его части, в 3 км к югу от пос. Рейдово (см. рис. 1).

Источники впервые исследованы в 1951 г. Л.Е. Михайловым. В 1953 г. они были описаны В.В. Ивановым. Кроме того, упоминание "о двух горячих слабосернистых источниках" этого района имеется и у Г.В. Корсунской (1958). В 1958 г. источники были опробованы О.К. Калишевичем.

Местность в районе источников представляет собой слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками не более 60 м. Водовмещающими, по мнению В.В. Иванова, являются эффузивно-туфогенные породы итурупской свиты. Л.Е. Михайлов считает, что источники связаны с линией тектонического нарушения, вдоль которой возникли вулканы Баранского, Богдана Хмельницкого и Чирип.

Источники находятся в долине небольшой речки, впадающей с юго-запада в оз. Рейдовое. Вода выходит в пределах нижней надпоймен-

Таблица 34

Химический состав вод Рейдовских источников

Компоненты	Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); Т (°С) = 68; pH = 6,65			Автор обследования тик М.Г. Картавова;	
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	
Na ⁺	866,8	37,67	62,02	1173,0	
K ⁺	85,4	2,18	3,58		
NH ₄ ⁺	Не обн.	-	-	4,5	
Ca ⁺⁺	385,7	19,25	31,69	371,0	
Mg ⁺⁺	20,1	1,65	2,71	59,0	
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	0,7	
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	0,3	
Al ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	-	
Sr ⁺⁺	То же	-	-	-	
Ba ⁺⁺	"	-	-	-	
Cu ⁺⁺	"	-	-	-	
Σ катионов	1,358	60,75	100	1608,5	
Cl ⁻	1374,0	38,74	63,77	1775,0	
I ⁻	0,2	-	-	-	
Br ⁻	3,0	0,03	0,04	-	
F ⁻	2,0	0,10	0,16	-	
SO ₄ ⁻⁻	780,3	16,25	26,76	902,0	
NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-	0,01	
NO ₂ ⁻	То же	-	-	-	
CO ₃ ⁻⁻	-	-	-	-	
HCO ₃ ⁻⁻	343,8	5,63	9,27	341,0	
HAO ₄ ⁻⁻	Не обн.	-	-	-	
PO ₄ ⁻⁻	То же	-	-	-	
Σ анионов	2503,3	60,75	100	3018,0	
HBO ₂	38,2	-	-	-	
H ₂ SiO ₃	143,0	-	-	-	
Минерализация	4042,5	-	-	4626,5	
Сухой остаток	3924	-	-	-	
CO ₂	-	-	-	101	
H ₂ S	Не обн.	-	-	-	

ной левобережной террасы в 150 м от русла реки. Терраса сильно заболочена и покрыта густыми, часто труднопроходимыми зарослями бамбука. Горячая вода пробивается на поверхность через песчано-супесчаные аллювиальные отложения.

Абсолютная высота выходов источников не более 10 м.

ния Л.Е. Михайлов, 1951 г.; анали- Т(°С) = 72; рН = 6,2		Автор обследования Л.Е. Михайлов, 1951 г.; аналити- ки Соколова, Голоховская; Т(°С)=72; рН = 6,6		
мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
51,0	68	888,0	38,6	63
0,1	-	72,1	1,81	2
18,55	25	402,0	20,1	34
4,93	7	16,1	1,3	1
-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
74,58	100	1378,2	61,8	100
50,1	67	1395,3	39,3	64
-	-	Не обн.	-	-
-	-	3,5	0,04	-
-	-	Не обн.	-	-
18,8	25	823,6	17,2	28
-	-	3,0	-	-
-	-	0,01	-	-
-	-	Не обн.	-	-
5,6	8	32,0	5,2	8
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
74,5	100	2545,4	61,7	100
-	-	8,0	-	-
-	-	113	-	-
-	-	4044,6	-	-
-	-	3898	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Основной источник - это почти разрушенный колодец, закрепленный деревянным срубом сечением 1,3×0,8 м. Глубина колодца 2,0 м. Вода находится на уровне земли и стекает по деревянному лотку в купальный бассейн. Со дна колодца бурно выделяются пузырьки газа. Вода прозрачная, с сильным запахом сероводорода, без вкуса.

Таблица 35

Состав газа источников

Газ	Температура, °С	Содержание, в объемных %		
		СС ₂	СН ₄	N ₂ + редкие
Свободный	63	39,93	7,44	52,63

Примечание: СО, Н₂S, С_дН_м, Н₂ и О₂ не обнаружены.

Температура воды, по данным Л.Е. Михайлова, была 72°С, а по В.В. Иванову — 68°С. Приток воды в ванну 0,4–0,5 л/сек. Истинный дебит источника, по-видимому, значительно больше.

Вокруг источника в радиусе примерно 50 м, среди бамбука имеется еще ряд выходов термальной воды.

Химический состав вод Рейдовских источников приведен в табл. 34. К данным таблиц следует добавить, что при полевых определениях 1953 г. В.В. Ивановым в воде было обнаружено 4,2 мг/л Н₂S.

В табл. 35 приведены данные газового анализа. Газ углекислоазотный. Интересно отметить высокое содержание метана (7,4%).

Рейдовские источники относятся к метаново-углекислоазотным, среднеминерализованным, слабокислым, сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым термам. Следует отметить повышенное содержание в воде биологически активных компонентов: сероводорода, бора, фтора кремнекислоты.

Резко повышенное количество в воде двух последних позволяет назвать минеральную воду фтористой, кремнистой.

По газовому составу и содержанию биологически активных компонентов вода Рейдовских источников близка к водам Горячих Ключей, известных своими ценными лечебными свойствами.

ЛОСОСЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ

Расположены на Охотском побережье о. Итуруп, в средней его части, на берегу бухты Лососевой, в 3,5 км на северо-северо-запад от пос. Рейдово, в 0,4–0,5 км от устья ручья Тоший (рис. 1).

Источники обследованы в 1958 г. О.К. Калишевичем.

Они выходят у юго-восточного подножия вулкана Богдан Хмельницкий (1589,3 м), в поколе морской террасы, из трещин в эффузивно-туфогенных породах.

На протяжении 150 м отмечается три выхода холодных слабо-кислых минеральных вод (через 50–70 м). Они выносят много окислов железа, которые отлагаются в виде красных охр и железистых травертинов. Дебит источников небольшой.

Химический состав воды Лососевых источников приведен в табл. 36.

Таблица 36

Химический состав воды Лососевых источников

Компо- ненты	Автор обследования О.К. Кали- шевич (1958 г.); pH=6,3			Компо- ненты	Автор обследования О.К. Кали- шевич (1958 г.); pH=6,3		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ } K ⁺ }	261,3	11,36	22,54	NO ₂ ⁻	-	-	-
NH ₄ ⁺	Сл.			HCO ₃ ⁻	1146,8	18,80	37,50
Ca ⁺⁺	638,6	31,93	63,35	Σ анионов	2548,9	50,40	100,00
Mg ⁺⁺	85,3	7,11	14,11	H ₂ SiO ₃	92,0		
Σ катионов	985,2	50,40	100,0	R ₂ O ₃	6,0		
Cl ⁻	327,6	9,23	18,31	Минера- лизация	3632,1		
SO ₄ ⁻	1074,5	22,37	44,39	Сухой остаток	3172,0		
NO ₃ ⁻	-	-	-	CO ₂ своб.	506,0		

Как видно из таблицы, эти источники относятся к железистым, углекислым, среднеминерализованным, нейтральным, гидрокарбонатно-сульфатным натриево-кальциевым. Повышенное содержание кремнекислоты дает возможность назвать воду кремниевой. Содержание в воде НВО₂ достигает 5-10 мг/л.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНА ЧИРИП

Связаны с постоянной сульфатарной деятельностью. Горячие источники берут начало в кальдере. Ручьи выносят много железа, что привело к образованию лимонитового месторождения.

1 группа источников - Лимонитовый каскад.

В северной части депрессии расположено несколько озер. Наиболее крупное из них - оз. Тихое - имеет диаметр около 300 м и глубину порядка 8 м. У северо-восточного берега озера находится кислый холодный источник с дебитом 60 л/сек. Ручей, образованный источником, впадает в озеро. Его вода содержит 75 мг/л алюминия и 188 мг/л закисного железа, pH около 3. В протоке, соединяющей оз. Тихое и р. Северный Чирип, отлагаются железистые осадки, образуя так называемый Лимонитовый Каскад.

В этом районе, на правом борту долины р. Северный Чирип, примерно в 2,5 км от ее устья, сотрудник Сахалинского геологического управления О.К. Калишевич, обследуя минеральные воды о-вов Итуруп и Кунашир, отмечал большое количество железистых источников. Долина реки очень узкая, в ее русле много водопадов, из них пять крупных. Они сложены базальтами типа спилитов, а в бортах долины обнажаются туфогенные породы. Здесь на протяжении 1 км, с террасы, сложенной лимонитизированными туфами, стекают кислые

воды. На террасе находится сильно заросшее и высохшее озерко, на дне которого отложился лимонит. По дну озерка текут кислые ручьи, несущие много железа. Бор в воде источников не обнаружен.

II группа минеральных источников обнаружена в верховьях ручья Теплового, впадающего в р. Северный Чирип немногим выше ручьев Лимонитового Каскада. Источники обследованы В.В. Бочкаревым и др. (1958). Здесь в эрозионном цирке глубиной 30–50 м и площадью около 2 га из трещин в измененных базальтах наблюдается выделение сероводорода с температурой до 70°. Тут же, преимущественно на дне оврага, выходит несколько небольших источников с горячей сернистой водой.

III группа минеральных источников отмечена О.К. Калишевичем по обоим бортам долины р. Южный Чирип, в 3 км от ее устья. Дебиты их значительные. Бора в воде не обнаружено. По сведениям В.В. Бочкарева, ручьи Болотный и Фумарольный, впадающие слева в р. Южный Чирип в ее верховьях, несут кислые железистые воды. В истоках ручья Фумарольного отмечаются газовыделения сероводорода по трещинам.

В устье р. Южный Чирип "на большом расстоянии от берега моря видны опалисцирующие молочно-желтые воды, отклоняющиеся на юг" (О.К. Калишевич).

О IV группе холодных железистых минеральных вод, выходящих на побережье Охотского моря, в основном, между устьями рек Северный Чирип и Южный Чирип, конкретных данных нет.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНА БАРАНСКОГО

Вулкан Баранского представляет усеченный конус абсолютной высотой 1126 м. На вершине имеется кратер диаметром около 650 м, открытый на север. Стенки его сложены преимущественно андезитами. На дне кратера возвышается лавовый купол диаметром около 350 м. В юго-западный склон вулкана на высоте 700–750 м врезан эксплозивный кратер, имеющий вид сильно разрушенного амфитеатра. На его стенках обнажаются двупироксеновые оливиновые базальты. Большая часть склонов вулкана покрыта пирокластическими отложениями. На северном склоне отмечается поток лавы андезито-дацитового состава. Крупный поток лавы спускается и по восточному склону. Тело вулкана сильно изрезано барранкосами.

Вулкан проявляет интенсивную фумарольную деятельность. В.В. Бочкарев выделяет на вулкане четыре фумарольных поля:

1. Большое фумарольное поле. Расположено на юго-западном склоне вулкана на высоте 300–500 м. Представляет собой сернокислотный цирк. Площадь его 40 000 м². Поле расположено вдоль разлома юго-западного направления. Многочисленные фумаролы имеют температуру 95–100°С. Много кипящих грязевых ванн. Широкое распространение последних В.В. Бочкарев объясняет, во-первых, — близостью к поверхности уровня грунтовых вод, во-вторых (как следствие), — большим содержанием водяных паров в фумарольных выделе-

ниях и, в-третьих, — сильной разложенностью пород на площади фумарольного поля. Благодаря этим обстоятельствам разложенные породы у фумарол, обогащаясь водой, превращаются в пластичную массу, закрепляющую устья. Через эту массу с шумом прорываются горячие газы; иногда образуются грязевые вулканчики, высота их не превышает 1 м¹. Наибольший диаметр котлов около 3 м. Температура газа достигает 100°С.

Кроме грязевых котлов, здесь же имеется несколько грязевых озер округлой формы, самое большое из которых имеет диаметр 12 м, а большинство остальных 1–2 м. Глубина озер 3–4 м. Интересно, что эти озера напоминают гейзеры. Из них происходит периодическое газовыделение, со слабыми взрывами, разбрызгивающими грязь высоко вверх и в стороны. По полевым определениям О.К. Калишевича, содержание в воде озер метаборный кислоты достигает 2 мг/л.

По краям фумарольного поля выходит множество теплых и холодных сероводородных источников. Л.Е. Михайлов и О.Н. Толстихин (Ю.С. Желубовский, 1952) следующим образом описывают некоторые источники в долине ручья, берущего начало с фумарольного поля и впадающего в р. Серную.

В верховьях ручья наблюдается четыре источника, расположенных веерообразно, примерно на одном уровне. Расстояние между ними 3–5 м. Склон покрыт глыбовой осью сильно измененных андезитобазальтов, вследствие чего истоки выражены неотчетливо. Вода источников сливается у подножья склона в один общий ручеек. Источники и ручьи окаймлены светло-желтыми отложениями серы. Температура воды 30–36°С. Суммарный дебит приблизительно 2 л/сек. Несколько ниже по течению ручья на левом склоне долины наблюдается еще один минеральный источник. Абсолютная отметка его 250 м. Опушенная в воду источника монета тускнеет в течение 2,5 сек. Температура воды 42°С.

Вода всей описанной выше системы термальных источников прозрачная, бесцветная, кислая, с сильным запахом сероводорода.

О.К. Калишевич в Старозаводской группе, в долине р. Серной¹, отмечает два выхода минеральных вод, расположенных на расстоянии 50 м один от другого, со значительными дебитами и температурой 80–90°С. Бор в воде этих источников, по его данным, не обнаружен.

Ниже по течению на левом склоне долины ручья наблюдается холодный источник с дебитом 0,5 л/сек. Температура воды 10–11°С. Вода пресная на вкус; в месте выхода на валунах осаждаются железистые охры.

2. Верхнее фумарольное поле или "Кипящая речка"². Расположено в 1 км к юго-западу от Большого. В центре поля имеется мощный горячий источник с дебитом до 50 л/сек, с температурой воды около 100°. Горячий ручей впадает в речку Океанскую.

¹ О.К. Калишевич дает недостаточно четкое описание источников, в связи с чем отнесение их к той или иной группе в отдельных случаях несколько условное.

² Фумарольное поле "Кипящая речка", по В.В. Бочкареву.

Таблица 37

Химический состав вод источников вулкана Баранского

Компоненты	Первая группа					
	Сернистый источник около ванны. Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1948 г.); pH = 3,5			"Кипящее" озеро. Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1948 г.); pH = 5,0		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	44,36	1,93	30,0	17,71	0,77	22,9
K ⁺	8,38	0,22	3,4	-	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	Не обн.	-	-
Ca ⁺⁺	60,60	3,03	47,0	30,30	1,52	45,2
Mg ⁺⁺	15,46	1,27	19,6	13,10	1,07	31,9
Fe ⁺⁺	-	-	-	Есть	-	-
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	То же	-	-
Σ катионов	128,80	6,45	100,0	61,11	3,36	100,0
Cl ⁻	57,51	1,62	24,2	14,2	0,40	11,9
SO ₄ ⁻	244,43	5,03	75,8	142,37	2,96	88,1
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
Σ анионов	301,99	6,65	100,0	156,57	3,36	100,0
HBO ₂	-	-	-	-	-	-
H ₂ SiO ₃	240	-	-	47,8	-	-
R ₂ O ₃	29,6	-	-	6,8	-	-
Минерализация	700,3	-	-	272,3	-	-
Сухой остаток	981,6	-	-	244,8	-	-
CO ₂ своб.	-	-	-	-	-	-
H ₂ S	3,41	-	-	7,2	-	-
Окисляемость,	7,44	-	-	-	-	-
O ₂ мг/л	-	-	-	-	-	-

Первая группа источников этой группы находится в верховьях расширенной долины левого притока р. Серной. Абсолютная отметка выходов около 250 м. По Л.Е. Михайлову и О.Н. Толстихину, здесь имеется шесть восходящих сосредоточенных выходов воды с температурой около 100°С и четыре грязевых котла диаметром 3-6 м, из которых местами вытекают струи горячей воды.

Г.В. Корсунская (1958) так описывает это место:

"...разбросаны небольшие котловины, заполненные горячей грязью голубовато-серого и чисто-белого цвета. То здесь, то там выкакивают бурлящие ключи; урча и пузырясь расходятся круги по поверхности грязи. Встречаются и мелкие озера с теплой водой. У

Вторая группа					
"Кипящее" озеро в сернокислом цирке. Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1948 г.); pH=3,5			Источник рядом с "Кипящим" озером. Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1948 г.); pH=3,5		
мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
2,43	0,10	0,1	114,08	4,96	73,9
26,19	0,67	0,9			
Не обн.	-	-	-	-	-
1203,55	60,17	85,4	21,15	1,05	15,7
116,62	9,58	13,6	8,47	0,70	10,4
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
1348,79	70,52	100,0	143,7	6,71	100,0
330,86	9,33	13,3	8,16	0,23	3,4
2924,94	60,83	86,7	311,91	6,48	96,6
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
3255,8	70,16	100,0	320,07	6,71	100,0
-	-	-	-	-	-
441	-	-	51,4	-	-
386	-	-	74,0	-	-
5432	-	-	589,17	-	-
-	-	-	506,4	-	-
-	-	-	-	-	-
Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
10,0	-	-	3,12	-	-

берегов, где выходят горячие газы и источники, вода озер парит, отдавая воздуху тепло, полученное из недр земли".

В месте выходов воды наблюдаются обильные отложения серы. Около одного из озер был сделан отстойник для забора серы.

В 0,5 км к юго-западу от первой подгруппы расположена вторая подгруппа источников. Здесь отмечается четыре выхода термальных вод.

Выходы, сосредоточенные в виде восходящих струй, имеющих сток в русло ручья. Температура воды 60-100°C. Суммарный дебит источников 20-30 л/сек. Вода кислая, с запахом сероводорода.

В 1 км от второй подгруппы на склоне эрозионного цирка расположена третья подгруппа термальных источников. На дне цирка

Таблица 37 (окончание)

Компоненты	Вторая группа			Третья группа		
	Ключ I выше fumarольного поля "Кипящая речка". Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1947 г.); T°C=70; pH = 3,0					
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ Г ⁺	1368,50	59,44	86,71	327,29	14,23	73,2
NH ₄ ⁺	-	-	-	0,1	-	-
Ca ⁺⁺	118,28	5,91	8,62	59,2	2,96	15,2
Mg ⁺⁺	39,10	5,20	4,67	27,0	2,25	11,6
Fe ⁺⁺	Мн.	-	-	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	-	-	-
Σ катионов	1535,88	68,55	100	413,5	19,44	100,0
Cl ⁻	1069,8	30,22	44,05	226,2	6,39	32,9
SO ₄ ⁻	1845,9	38,39	55,95	377,6	7,84	40,3
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	Сл.	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	317,2	5,21	26,8
Σ анионов	2915,7	68,61	100	921	19,44	100,0
HBO ₂	-	-	-	2,0	-	-
H ₂ SiO ₃	301	-	-	131,0	-	-
R ₂ O ₃	350,0	-	-	5,5	-	-
Минерализация	5102,58	-	-	1471	-	-
Сухой остаток	5022,58	-	-	-	-	-
CO ₂ своб.	-	-	-	44	-	-
H ₂ S	Не обн.	-	-	-	-	-
Окисляемость, O ₂ мг/л	156,8	-	-	-	-	-

имеется воронка диаметром 30 и глубиной 4-5 м. В центре ее наблюдается сильное выделение паров воды и газа. На склоне встречено несколько грифонов, окаймленных отложениями серы. По дну цирка течет ручей с холодной пресной водой, в который и впадают минеральные источники. По берегам ручья имеется еще несколько "кипящих" озер, вокруг которых прослеживаются значительные отложения серы.

В.В. Бочкарев описывает эту группу несколько иначе. "Свое наименование¹ оно получило по выходу в средней части поля (с расходом 0,05 м³/сек) мощного потока горячей (100°) сильно ми-

¹ fumarольное поле "Кипящая речка".

нерализованной воды. Этот поток течет далее по узкой шелевидной долине и впадает в р.Океанскую¹. Выход потока представляет удлиненное озеро шириной в 5-6 м и длиной до 12 м с удивительно прозрачной водой небесно-голубого цвета; наибольшая глубина озера равна 4 м; у берегов его скопился сульфурит в виде густой желтовато-серой массы". Аналогичное описание приводит и О.К.Калишевич. Бор, по его данным, в водах отсутствует.

Выше описанного озера располагается сернокислотный цирк, в котором находятся многочисленные небольшие фумаролы, отлагающие кристаллическую серу у устья.

Ниже горячего потока и озера имеется два небольших горячих озера, представляющих выходы горячих сернокислых источников. На дне озер обнаружен небольшой осадок сульфурита.

3. Кратерное фумарольное поле. Расположено внутри молодого кратера. Деятельность фумарол сосредотачивалась вдоль концентрической трещины около некка.

4. Поле новейшей фумарольной деятельности. Расположено к востоку от Кратерного. На поверхности ясно выражены две трещины широтного направления длиной около 300 м, к которым приурочены многочисленные фумаролы.

Химический состав вод источников вулкана Баранского приведен в табл. 37.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНА ТЕБЕНЬКОВА

Вулкан Тебенькова высотой 1212 м имеет правильный слегка усеченный центральный конус сложного строения относительной высотой 460 м. На вершине имеется кратер диаметром около 200 м, глубиной 50-70 м.

Сомма вулкана диаметром около 3 км сильно разрушена. Ее сильно сглаженный гребень сохранился лишь в северной и западной частях в виде дугообразных хребтиков высотой более 840 м над ур.м. Вулкан сложен измененными андезито-базальтами и их туфами четвертичного возраста. В его основании залегают неогеновые вулканогенно-осадочные породы.

В южный склон соммы врезан огромный глубокий боковой кратер взрыва воронкообразной формы, получивший название кратера Мачеха. Длинный диаметр его достигает 1600 м, короткий 700, а глубина до 500 м.

Сольфатары и связанные с ними гидротермальные проявления приурочены к большому эксплозивному кратеру Мачеха (рис. 1). Согласно О.Н.Толстихину, температура воды в минеральных источниках в кратере Мачеха - 87°С; состав сульфатный, а минерализация - 2,3 г/л.

В 1961 г. сотрудник Сахалинского геологического управления Б.Д.Шуляков совместно с гидрогеологом Сахалинского комплексно-

¹ Река Серная, по Л.Е.Михайлову и О.Н.Толстихину.

го научно-исследовательского института СО АН СССР С.С. Сидоровым с большими трудностями спустились в кратер вулкана.

В верхней части кратера из-под обломочного материала ими встречен ручей с температурой воды 6°C и $\text{pH} = 3-4$. В нижней трети стенки кратера обнаружены горячие источники с мизерными дебитами и многочисленными фумаролами с температурой $70-90^{\circ}\text{C}$. Трещины в породах здесь выполнены игольчатыми кристаллами серы.

Несколько ниже было обнаружено большое количество мощных фумарол с температурой $90-96^{\circ}\text{C}$. Размер их воронок достигает 15 см.

Ниже поля фумарол встречено три источника.

Первая группа источников — "железистые" — отлагает большое количество гидроокислов железа и состоит из 30-40 нисходящих мелких выходов, сосредоточенных на площади 300 м^2 и имеющих суммарный дебит не более 2 л/сек.

В 2 м ниже и западнее находится еще источник с дебитом около 1 л/сек и температурой воды 30°C .

Вода всех источников кислая ($\text{pH} = 2$).

Второй источник расположен в 70 м к западу от первой группы. Выход приурочен к нижней части вертикальной стенки высотой 8-10 м, сложенной трещиноватыми андезито-базальтами. Источник восходящий. Его дебит 1,5 л/сек. Вода кислая ($\text{pH} = 0-3$), без запаха, с температурой 85°C . На месте выхода отложения гидроокислов железа.

Третий источник находится в 40-50 м западнее второго, за гребнем, сложенным пирокластическим материалом. Его дебит 2 л/сек. Источник восходящий. Его выход приурочен к трещинам в андезито-базальтах. Одни трещины заполнены белым веществом, другие — пепельно-серой тонкодисперсной глиной. Вода кислая ($\text{pH} = 0-1$), без запаха, с температурой 83°C .

Все перечисленные источники газируют. Расположены они примерно на одной линии, в 200-300 м ниже гребня кратера и в 300-400 м над уровнем океана. Сливаясь вместе, источники дают начало ручью Грязному. Ниже по долине предполагается наличие еще целого ряда минеральных источников.

Вот как описывает долину ручья Грязного Г.В. Корсунская (1958): "В высоких склонах долины обнажаются те же белые породы, расцвеченные пятнами разнообразных тонов: красные, оранжевые, бурые, голубые, синие, черные. Так же как и в кратере, склоны долины ручья покрыты щебнистыми осыпями. Вдоль ручья встречаются следы погасших сольфатар, отложивших серу и четыре очага действующих, по 10-12 отверстий на каждом участке".

Рудничные (Сернозаводские) источники расположены в небольшом эксплозивном кратере на западном внешнем склоне кратера Мачеха, в 1,4 км на юг-юго-запад от вершины вулкана Тёбенькова.

Кратер сильно разрушен, имеет вид амфитеатра, широко раскрытого к югу. В нем имеется серное месторождение.

В кратере обнажаются измененные вулканогенные породы — андезиты, андезито-базальты, их туфы и туфоагломераты. Дно кратера покрыто мощной толщей делювиально-пролювиального материала, который разложен под воздействием газов, паров, минеральных вод и цементирован серой.

В шурфах, канавах и скважинах глубиной до 20 м на месторождении отмечались притоки минеральных вод, обычно не превышающие 0,03 л/сек. На одном из fumarольных полей¹ происходило выделение из скважин горячих газов серого цвета с запахом сероводорода и сернистого газа. Температура пород на глубине 2,7 м была 55°C, а на глубине 12 м достигала 96°C.

Образование серных руд В.В. Бочкарев, Н.И. Массеров и другие объясняют деятельностью минеральных источников, в прошлом значительно более активной.

В центральной части кратера в верховьях сухого распада, на его правом берегу встречен холодный минеральный источник, дающий начало ручью Рудничному, впадающему в океан. Выход приурочен к андезито-базальтам. На 21 октября 1946 г. его дебит был 1,5 л/сек, а температура воды 8°C при температуре воздуха 4,5°C. Вода прозрачная, горьковатая на вкус, с запахом сероводорода. 25 августа 1947 г. дебит источника составлял 1 л/сек.

В 100–120 м ниже по узкой долине у ее правого борта обнаружен горячий источник. Воды вытекает из грифона диаметром 30–40 см. Ее температура 5 августа 1946 г. была 59°C при температуре воздуха 20°C. Дебит источника 3 л/сек. Вулканогенные породы в месте выхода превращены в пестроокрашенные структурные глины, инкрустированные серой, которая образовалась в результате окисления сероводорода, интенсивно выделяющегося из воды. Температура воды в ванне регулировалась пуском холодной воды ручья. 21 октября 1946 г. температура воды источника упала до 43°C при температуре воздуха 4,5°C, а дебит увеличился до 6 л/сек. В 1947 г. температура воды источника выше 43°C не поднималась.

14 октября 1946 г. после продолжительных дождей в 5 м ниже по течению ручья на его левом борту на высоте 2,5 м над гальвегом возник минеральный источник с температурой воды 36°C и дебитом около 1 л/сек. Впоследствии температура и дебит источника несколько уменьшились. Таким образом, устанавливается, что режим источников находится в тесной связи с атмосферными осадками.

Исследователи отмечают, что ниже по течению ручья есть еще несколько выходов минеральных вод.

В 1951 г. один из этих источников посетил Л.Е. Михайлов. Источник восходящий. Исток представляет небольшой цирк с отверстием в кулак, из которого под напором выливается кислосоленая на вкус вода с запахом сероводорода, с температурой 46–48°C и дебитом 4–5 л/сек.

¹ Третий участок, по В.В. Бочкареву.

Таблица 38

Химический состав воды источников кратера Мачеха

Компоненты	Рудничные (Сернозаводские)						
	Автор обследования В.В. Бочкарев и др. (1947 г.); Т (°С)=42; рН = 3,0			Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951 г.); аналитик Е.Г. Суворова; Т (°С) = 47; рН = 2,1			Автор нов Е.Ф. Про рН = 2,0
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л
Na ⁺	644,69	28,03	70,87	60,0	0,27	0,6	12,1
K ⁺	-	-	-	-	-	-	5,1
NH ₄ ⁺	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.
Ca ⁺⁺	208,66	10,43	26,37	217,2	10,86	25,1	195,0
Mg ⁺⁺	13,32	1,09	2,76	14,8	1,21	2,8	9,1
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	1,6	0,06	0,1	Не обн.
Fe ⁺⁺⁺	То же	-	-	То же	-	-	То же
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	188,0	20,90	48,2	170,7
Mn ⁺⁺	-	-	-	0,8	0,03	0,05	-
Sr ⁺⁺	-	-	-	-	-	-	0,7
Ba ⁺⁺	-	-	-	-	-	-	Не обн.
H ⁺	-	-	-	10,0	10,0	23,1	8,8
Σ катионов	868,67	39,55	100	492,4	43,33	100	401,5
Cl ⁻	35,6	1,00	2,53	33,0	0,93	2,0	38,0
I ⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.
Br ⁻	-	-	-	-	-	-	То же
F ⁻	-	-	-	-	-	-	1,2
SO ₄ ⁻	1854,4	38,55	97,47	2035,0	42,40	98,0	1565,7
HSO ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	500,5
NO ₂ ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	-
CO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	-
HAso ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	0,9
HPO ₄ ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-
Σ анионов	1889,0	39,55	100	2068	43,33	100	2105,4
HVO ₂	-	-	-	Не обн.	-	-	21,3
H ₂ SiO ₃	216	-	-	188	-	-	153,4
R ₂ O ₃	381,5	-	-	-	-	-	-
Минерализация	3353,17	-	-	2738	-	-	2681
Сухой остаток	3365,57	-	-	2300	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	187,0	-	-	300,9
Окисляемость, O ₂ мг/л	62,4	-	-	-	-	-	-

* Так как эти анализы сокращенные, то в (Na⁺+K⁺) вошли также Al⁺⁺⁺ и другие компоненты.

Рудничные (Сергосаволские)					Грязные		
обследования В.В.Ива- (1954 г.); аналитик кофьева; T(°C) = 43;		Автор обследования Б.В. Шуля- ков (1961 г.); pH < 4			Автор обследования Б.В. Шуляков (1961 г.); pH < 4		
мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
0,53	1,36	209,7	9,12	23,2	1314,45	57,20	70,52
0,13	0,33						
-	-	0,4	-	-	3,6	-	-
3,72	24,48	198	9,90	25,2	8	0,40	0,56
0,75	1,92	102,2	8,52	21,6	-	0,16	0,23
-	-	150	5,36	13,6	170	6,07	8,46
-	-	120	6,45	16,4	150	8,06	11,23
18,87	48,77	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
8,81	22,64	-	-	-	-	-	-
38,91	100	780,3	39,35	100	1648,0	71,89	100
1,07	2,75	14,0	0,39	0,9	58,5	1,65	2,32
-	-	0,2	-	-	-	-	-
-	-	2,0	-	-	-	-	-
0,06	0,15	-	-	-	-	-	-
32,62	83,83	2050,8	42,8	99,1	3377,2	69,4	97,68
5,16	13,27	-	-	-	-	-	-
-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
-	-	То же	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
38,91	100	2077,0	43,19	100	3435,7	71,05	100
-	-	72,8	-	-	220	-	-
-	-	50	-	-	23	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	2980	-	-	5326,7	-	-
-	-	2584	-	-	5103	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

В.В. Иванов (1955), описывая Рудничные (Сернозаводские) источники в 1954 г., отмечает, что они "находятся в неглубоком овраге, спускающемся от серного рудника, на высоте порядка 700-750 м, в 400 м к западу от гребня кратера Мачеха и в 300 м от самого рудника. Термальная вода выходит в тальвеге оврага среди сильно разрушенных глыб вулканогенных пород в виде двух рядом расположенных довольно крупных грифонов и многочисленных мелких выходов". Максимальная температура воды 43°C, суммарный дебит 4 л/сек.

Наконец, в 1961 г. источники были обследованы Б.Д. Шуляковым. Он описывает здесь два крупных выхода термальных вод.

Первый источник расположен в 20 м ниже каменного моста через ручей. Целый ряд выходов, расположенных в 4-5 м один от другого, сосредоточен на площади не менее 50 м². Источники, восходящие в виде крупных грифонов из-под глыб андезито-базальта. Температура воды, имеющей кислый вкус (pH = 1) и сильный запах сероводорода, от 30 до 50°C. Дебит источника 4-5 л/сек. В местах выходов налет серы, а также выцветы солей белого цвета, шипящие языки.

Второй источник описан Б.Д. Шуляковым, видимо, впервые. Он расположен в 200 м ниже по ручью от первого. По характеру выхода он аналогичен предыдущему. Отмечается несколько выходов, расположенных непосредственно в русле ручья и у подножия склона из-под глыб. Вода кислая (pH = 0-1), с запахом сероводорода и температурой 22-40°C. Дебит отдельных выходов не превышает 1 л/сек, суммарный - 3-4 л/сек. В 100 м ниже по ручью на левом берегу расположено еще несколько мелких выходов кислых (pH = 0-1), сероводородных вод с температурой воды 20-27°C и дебитом от 0,001 до 0,01 л/сек.

Через два дня после обследования источников Б.Д. Шуляковым прошел дождь. В результате вся сера с камней была смыта, и источники стали незаметны. Спустя еще два дня, выше места выхода первого источника, ручей Рудничный имел расход около 1-2 л/сек и нес кислую на вкус воду (pH = 3-4) с температурой 60°C, а на участке выхода второго источника расход достигал уже 10-15 л/сек при температуре воды 20-25°C. Эти факты еще раз указывают на зависимость температуры и дебитов источников от атмосферных осадков.

В 300 м ниже второго источника расположено небольшое озеро с мелкими выходами газа (сероводорода) и несколько небольших сероводородных источников. Температура воды 5-6°C, дебит источников до 1 л/сек. Здесь также имеются осадки белой коллоидной серы.

Химический состав воды источников кратера Мачеха приведен в табл. 38.

Очень интересно отметить резко повышенное содержание сероводорода (300 мг/л) - наибольшее из всех минеральных источников Камчатки и Курил.

Таблица 39

Анализ свободного и растворенного газа кратера Мачеха

Место отбора пробы	Газ	Температура воды, °С	Содержание в объемных %			
			CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄
Источники кратера Мачеха	Свободный	43	0,0	81,75	15,93	0,12
Рудничный (Серно-заводский) источник, В.В.Иванов (1955)	Растворенный	43	0,0	48,2 ₀	51,26	0,00

Таблица 39 (окончание)

Место отбора пробы	Газ	Температура воды, °С	Содержание в объемных %			
			C _n H _m	H ₂	N ₂ + редкие	O ₂
Источники кратера Мачеха	Свободный	43	0,0	0,0	2,20	0,0
Рудничный (Серно-заводский) источник, В.В.Иванов (1955)	Растворенный	43	0,0	0,0	0,54	0,0

В табл. 39 приведены данные анализа свободного и растворенного газа (В.В.Иванов, 1956). Свободный газ — углекислый, а растворенный — углекисло-сероводородный.

ГЛУХИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники расположены в 4,0 км северо-западнее вершины вулкана Тебенькова у его подножия в верховьях ручья Сернистый.

Они обследованы гидрогеологом Сахалинского геологического управления Б.Д. Шуляковым, проводившим поисковые работы на бор в 1961 г. Кроме этого источники упоминаются в перечне термальных источников В.В.Иванова (1955) под названием "Тебеньковские".

Вода одного из источников вытекает прямо в сухом русле ручья среди глыб андезито-базальтов на площади 20–30 м². Дебит источника 5–6 л/сек. Температура воды 17°С.

Другой крупный выход воды расположен в 70 м вниз по ручью, у подножия левого берегового склона, в 3 м от русла и в 1,5 м над урезом воды. Выход воды приурочен к трещине в туфопесчаниках. Дебит источника 1,5–2,0 л/сек. Температура воды 16°С. Вода источников пахнет сероводородом, у их выходов откладывается большое количество желто-серой коллоидной серы. Между двумя крупными выходами имеется множество мелких холодных сероводородных источников.

Химический состав воды первого источника приведен в табл. 40.

Воды источников относятся к кислым, слабominерализованным, сульфатным магниевно-кальциево-натриевым. По содержанию железа и кремнекислоты, вода может быть названа железистой и кремнистой.

Таблица 40

Химический состав воды первого источника Глухих гидротерм

Компоненты	Автор обследования Б.Д. Шуляков (1961); T(°C) = 17; pH = 4,0			Компоненты	Автор обследования Б.Д. Шуляков (1961); T(°C) = 17; pH = 4,0		
	мг/л	мг-экв	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ + K ⁺	135,7	5,90	51,1	NO ₂ ⁻	Не обн.	-	-
NH ₄ ⁺	0,7	-	-	NO ₃ ⁻	Сл.	-	-
Ca ⁺⁺	43,0	2,15	18,6	CO ₃ ⁻	Не обн.	-	-
Mg ⁺⁺	24,0	2,00	17,4	HCO ₃ ⁻	6,1	0,10	0,8
Fe ⁺⁺	12,0	0,42	3,6	Σ анионов	598,6	12,56	100,0
Fe ⁺⁺⁺	20,0	1,07	9,3	HVO ₂	Не обн.	-	-
Σ катионов	235,4	11,54	100,0	H ₂ SiO ₃	65,0	-	-
Cl ⁻	22,0	0,62	4,9	Минерализация	899,0	-	-
I ⁻	0,3	-	-	Сухой остаток	800,0	-	-
Br ⁻	2,0	-	-	CO ₂ своб.	123,0	-	-
SO ₄ ⁻	568,2	11,84	94,3				

СОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ИВАН ГРОЗНЫЙ

Согласно Г.С. Горшкову (1967), сложная вулканическая постройка вулкана Иван Грозный состоит из древней сильно разрушенной кальдеры диаметром 3-3,5 км и абсолютной отметкой до 800 м над ур. м. и расположенного у ее южного края экструзивного купола высотой 1158 м. Этот купол состоит из трех крупных блоков, разделенных понижениями. По всей вероятности, все блоки образовались в результате одного, но достаточно длительного извержения. На вершине западного, самого крупного блока расположены две слившиеся эксплозивные воронки, образующие широтный, открытый к востоку ров. На северном склоне расположен еще один, менее высокий купол. На границе этого купола со склоном расположено гнездо мощных сольфатар.

ИСТОЧНИКИ ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ

Источники расположены на восточной окраине поселка Ключи, в центральной части о. Итуруп (рис. 1).

В 1951 г. источники были обследованы Л.Е. Михайловым, в 1954 г. В.В. Ивановым, в 1961 г. опробованы на бор О.К. Калищевичем и в 1962 г. изучены В.Е. Бевзом. Кроме того, об этих источниках упоминает Г.В. Корсунская (1958).

Выходы минеральных вод приурочены к породам Куйбышевской свиты неогенового возраста, многочисленные обнажения которых наблюдаются вдоль дороги Куйбышево-Касатка. Породы представлены мелкозернистыми, слабосцементированными песчаниками серо-бурого

цвета с коричневыми железненными пятнами. В песчаниках встречаются неправильной формы линзы конгломератов, состоящих из окатанной гальки базальтов с песчаным цементом. Песчаники разбиты системой трещин с преобладающим простиранием ЮВ-120°. Выходы вод приурочены к долине р. Благодатной. Первый источник находится на обрывистом уступе второй надпойменной террасы на высоте 1,0 м над первой террасой и в 25 м над уровнем моря. Термальная вода выведена горизонтальной трубой из разрушенных серых тонкозернистых песчаников, слагающих вторую террасу, и далее через распределительный резервуар поступает по трубам в большой купальный бассейн, в банно-прачечную и в душевую установку. Вода прозрачная, солоновато-кислая.

Температура воды у выхода из трубы 45,5°С. Дебит источника 1 л/сек (по В.В. Иванову) и 0,25 л/сек (по Л.Е. Михайлову и В.Е. Бевзу).

Второй источник расположен на первой террасе в 20-25 м южнее первого. Выход минеральных вод скрыт каптажным сооружением, которое представляет собой бетонный квадратного сечения колодец, перекрытый сверху цементной плитой. Сечение колодца 3,5 × 3,5 м, глубина 2,5 м, столб воды в нем 1,3 м. Вода отводится самотеком по трубопроводу в купальный бассейн.

Температура воды у дна каптажа 55°С. Дебит источника, по Л.Е. Михайлову - 0,35 л/сек, а по В.Е. Бевзу - 0,3 л/сек. Источник интенсивно газифицирует.

По словам сторожил, амплитуда колебаний температуры воды 10°С. Причем изменения температуры не связаны с климатическими факторами, а, по-видимому, обусловлены режимом вулканической деятельности вулкана Иван Грозный.

Таблица 41

Место отбора пробы	Газ	T°С воды	СО	СО ₂	Н ₂	СН ₄
Горячий ключ, В.В. Иванов, 1953 (1955)	Свободный	54,5	0,0	13,44	0,0	57,73
	Растворенный	54,5	0,0	50,58	0,0	11,93

Таблица 41 (окончание)

Место отбора пробы	Газ	T°С воды	С _n	Н _m	N ₂ + редкие	O ₂
Горячий ключ, В.В. Иванов, 1953 (1955)	Свободный	54,5	0,0	0,0	28,23	0,0
	Растворенный	54,5	0,0	0,0	37,49	0,0

Таблица 42

Химический состав воды источников Горячий ключ

Компоненты	Источник 1			Источник 1			Источник 2	
	Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951 г.); анализ сделан Лабораторией ВСЕГЕИ; T(°C)=45; pH=6,9			Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951 г.); аналитик М.Г. Картавова; T(°C)=45; pH=7,1			Автор об (1963 г.);	
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	
Na ⁺	427,0	18,55	80,5	462,0	20,10	84,5	495,8	
K ⁺	37,9	0,97	4,2				57,8	
NH ₄ ⁺	3,0	0,16	0,7				>>4,5	-
Ca ⁺⁺	35,2	1,76	7,6	43,0	2,16	8,75	40,0	
Mg ⁺⁺	17,4	1,45	6,3	19,0	1,54	6,75	19,2	
Fe ⁺⁺	1,4	0,24	1,0	0,75	-	-	-	
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	0,5	-	-	-	
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	-	-	-	Не обн.	
Σ катионов	522,0	23,13	100	530,0	23,85	100	613,0	
Cl ⁻	383,9	10,83	42,8	398,0	11,2	46,0	396,5	
I ⁻	Не обн.	-	-	-	-	-	0,2	
Br ⁻	0,4	-	-	-	-	-	3,0	
F ⁻	-	-	-	-	-	-	2,0	
SO ₄ ⁻⁻	<0,1	-	-	-	-	-	46,0	
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.	
NO ₂ ⁻	0,01	-	-	Не обн.	-	-	То же	
HCO ₃ ⁻	738,0	12,10	57,7	709,0	12,6	54,0	875,0	
NaAsO ₄ ⁻⁻⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.	
PO ₄ ⁻⁻⁻	-	-	-	-	-	-	То же	
Σ анионов	1123,0	22,93	100	1167,0	13,8	100	1222,7	
HBO ₂	8,0			-			15,9	
H ₂ SiO ₃	104			-			124,8	
Минерализация	1757			1697			2076	
Сухой остаток	1426			-			1648	
CO ₂ своб.	-			66			-	
H ₂ S	-			-			Не обн.	

В табл. 41 приведен состав свободно выделяющегося и растворенного газа. Первый - относится к азотно-метановым, а растворенный - к азотно-углекислым.

Источники Горячие Ключи относятся к азотно-метановым, среднеминерализованным, хлоридно-гидрокарбонатным натриевым термам (табл. 42). Повышенное содержание кремниевой кислоты, фтора, бо-

Источник 2		Источник 2			Источник 2		
следования В.В.Иванов Т(°С)=45; рН=7,25		Автор обследования Л.Е.Михай- лов (1951 г.); аналитик М.Г. Картавова; Т(°С)=55; рН=7,0			Автор обследования В.В.Иванов (1958 г.); Т(°С)=55; рН=7,25		
мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
21,56	81,01	605,0	26,30	87,2	633,1	27,53	85,68
1,48	5,56				48,2	1,23	3,80
-	-	>> 4,5	-	-	0,4	-	-
2,00	7,50	43,0	2,16	6,9	39,0	1,95	6,02
1,58	5,93	19,0	1,54	5,2	20,1	1,65	5,10
-	-	1,1	-	-	-	-	-
-	-	0,9	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
62,62	100	67,3	30,0	100	740,8	32,36	100
11,18	42,0	618,0	17,4	58,0	637,0	17,97	53,33
-	-	-	-	-	0,2	-	-
0,03	0,11	-	-	-	2,0	0,02	0,06
0,10	0,37	-	-	-	2,0	0,10	0,31
0,96	3,61	-	-	-	21,4	0,44	1,36
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	-	-	То же	-	-
14,35	53,91	769,0	12,6	42,0	843,8	13,83	42,74
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
26,62	100	1387,0	30,0	100	1506,6	32,36	100
		-			26,7		
		-			182		
		2060			2456,1		
		-			1987		
		75			-		
		-			Не обн.		

ра, наличия иода и брома определяют высокие бальнеологические качества воды. Минеральная вода может быть названа кремнистой, фтористой.

По данным О.К.Калишевича, в воде первого источника содержится 14 мг/л метаборной кислоты, а во втором - 20 мг/л, по данным В.Е.Бевза, количество в воде метаборной кислоты не превышает 8 мг/л, а брома достигает 8,4 мг/л.

Формула Курлова:

$N_2 28\% \text{ CH}_4 58\% \text{ F } 0,002 \text{ H}_2\text{SiO}_3 0,18$

$M 1,7-2,5 \frac{\text{HCO}^3 \text{ 54-57 Cl 42-58}}{(\text{Na} + \text{K}) 61 - 87} \text{ T } 45-56^\circ$

В.В. Иванов отмечает, что "по своему ионному составу вода источников Горячий Ключ относится к тому же типу, что и вода источников Дачные, но отличается значительно меньшей минерализацией и существенно иным газовым составом, что обуславливает ее слабощелочную реакцию".

Горячие Ключи — единственная группа горячих источников на о. Итуруп, которая широко используется в организованном порядке в лечебных целях. Все основные постройки местного госпиталя (купальни, прачечная, душевые) располагаются на нижней террасе вблизи источников.

ДАЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Источники расположены на западном побережье залива Касатка, в 1,5 км к западу от бывшего поселка Дачный (рис. 1).

В.В. Иванов (1955) дает такую привязку этим источникам: "... примерно в 8-км к северо-западу от основного транспортного центра острова — пос. Буревестник и в 3 км к западу от побережья залива Касатка".

В 1951 г. один из источников этой группы был исследован Л.Е. Михайловым. В 1953 г. источники обследованы и описаны В.В. Ивановым, в 1958 г. — О.К. Калишевичем и в 1962 г. — В.Е. Бевзом.

Источники находятся в узкой, сильно заросшей древесной и кустарниковой растительностью и бамбуком, долине, выходящей к заливу Касатка в 0,5 км к югу от так называемой "Чертовой горы" (В.В. Иванов).

Склоны долины сложены андезитово-базальтовыми лавами и их туфами четвертичного возраста. В.В. Иванов предполагает, что формирование термальных вод связано с мощной толщей неогеновых пород (куйбышевской свиты), представленных опоковидными песчаниками, туфосланцами, туфоконгломератами. Эти породы обнажаются в нескольких километрах к северу от источников.

Выходы воды отмечаются на северо-восточном склоне долины, в 30-35 м от ее тальвега, в 4-5 м над ур. ручья. Абсолютная высота 35 м. Общее направление долины на участке источников ВЮВ — 110°.

В.В. Иванов (1955) описывает три источника под названием: Большой, Малый и Нижний. Расположены они в 20-30 м один от другого.

Большой ключ — это довольно крупный, искусственно расширенный водоем, закрепленный несколькими стволами деревьев. Размер во-

доема 2,5 × 3,0 м, глубина 1,2 м. Состояние каптажа плохое. Вода в источнике "мутная, желтоватая, с неприятным запахом и кисло-соленым вкусом" (по Л.Е. Михайлову и В.Е. Бевзу, молочно-белая, по В.В. Иванову) от присутствия тонких взвешенных частиц карбонатов кальция и магния, которые и покрывают дно водоема. На поверхности воды плавают термофильные водоросли. Температура воды 34–35°C.

Из источника вытекает небольшой ручеек с дебитом 0,36 л/сек, растекающийся по склону. Он отлагает плотную корку желтовато-серых травертинов с зелеными потеками. Источник сильно газирует.

Малый ключ расположен в 25 м к юго-востоку от Большого. Представляет собой небольшую, но глубокую доронку (4 × 1 × 2 м). Воды мутно-белого цвета. Температура воды 33°C. Дебит источника 0,18 л/сек. Источник слабо газирует.

Нижний ключ находится несколько выше по течению от устья ручья Большого ключа, на высоте около 1 м над уровнем ручья. Вода вытекает из трубообразного канала в травертинах. Вода прозрачная. Температура воды 29°C. Дебит источника 0,2 л/сек.

Газовый состав источников представлен практически одной углекислотой (98 объемных %).

Дачные источники относятся к теплым, углекислым, средне-минерализованным, нейтральным, гидрокарбонатно-хлоридным, магниевым.

В воде определены иод, бром, фтор, бор и кремнекислота. Повышенное содержание трех последних позволяет называть воду фтористой, борной, кремнистой. Кроме этого, в воде обнаружены алюминий, марганец и стронций (табл. 43).

Формула Курлова:

CO₂ 98% F 0,002, H₂SiO₃ 0,17, HVO₂ 0,048

M 5,3–6,3 $\frac{\text{Cl } 60\text{--}62 \text{ HCO}_3^3 \text{ } 31\text{--}38}{\text{Na } 63\text{--}72 \text{ Mg } 14\text{--}25 \text{ Ca } 12\text{--}15}$ T 29–35° Д 0,74.

В целом, вода Дачных источников В.В. Ивановым рассматривается как весьма близкий аналог воды Эссентуки 4, от которых она отличается только преобладанием хлоридов над гидрокарбонатами.

Дополнительные лечебные свойства рассматриваемым водам придает очень высокое содержание кремнекислоты и также их повышенная температура. Следует отметить близость химического состава вод Дачных источников с водами Горячих ключей, известными своими высокими лечебными качествами.

Дачные источники используются в бальнеологических целях местным населением. В.В. Иванов рекомендует организовать бутылочный разлив минеральной воды.

К источникам возможен подъезд на вьючной тропе.

Таблица 43

Химический состав воды Дачных источников

Компоненты	Большой ключ						
	Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951); аналитик М.Г. Картавова; Т(°С)=35; рН=6,6			Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951)* аналитики Соколова, Голоховская; Т(°С)=35; рН=7,25			Автор об (1953);
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л
Na ⁺	1240,0	53,9	63	1401,0	60,93	72,22	1338,0
K ⁺	-	-	-	30,0	0,77	0,90	57,8
NH ₄ ⁺	4,5	-	-	Не обн.	-	-	2,0
Ca ⁺⁺	209,0	10,44	12,5	199,0	9,93	11,78	264,5
Mg ⁺⁺	233,0	20,88	24,5	152,0	12,50	14,81	158,8
Fe ⁺⁺	0,75	-	-	-	-	-	Не обн.
Fe ⁺⁺⁺	4,5	-	-	0,1	-	-	То же
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	1,7	0,19	0,23	"
Mn ⁺⁺	-	-	-	0,07	0,04	-	"
Sr ⁺⁺	-	-	-	0,5	0,01	0,01	"
Σ катионов	1692	85,22	100	1784	84,37	100	1816,1
Cl ⁻	2566,0	52,0	60,5	1752,0	49,41	61,8	1812,0
I ⁻	-	-	-	-	-	-	0,2
Br ⁻	-	-	-	-	-	-	2,0
F ⁻	-	-	-	-	-	-	2,0
SO ₄ ⁻	39,0	0,82	8,6	65,0	1,35	1,7	65,8
NO ₃ ⁻	0,015	-	-	-	-	-	Не обн.
NO ₂ ⁻	4,5	-	-	-	-	-	То же
HCO ₃ ⁻	1976,0	32,4	31,0	1777,0	29,13	36,5	2005,0
HA ₅ O ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.
PO ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	То же
Σ анионов	4585	85,22	100	3594	79,89	100	3887,0
HVO ₂	-	-	-	28	-	-	47,8
H ₂ SiO ₃	-	-	-	145	-	-	147
R ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-
Минерализация	6275	-	-	5551	-	-	5925
Сухой остаток	-	-	-	5480	-	-	4856
CO ₂ своб.	603,0	-	-	-	-	-	750
H ₂ S	Запах	-	-	-	-	-	Не обн.

Большой ключ		Нижний ключ					
слеживания В.В.Иванов Т(°С)=34		Автор обследования В.В. Иванов (1953); Т(°С)=29; рН=6,0			Автор обследования О.К.Колышевич (1958)*; рН=6,4		
мг-экв	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
68,15	68,03	1510,0	50,05	69,88	1138,6	51,68	71,3
1,43	1,73	36,5	0,93	1,29			
-	-	Не обн.	-	-	4,5	0,25	0,3
13,20	15,44	189,1	9,44	13,18	180,9	9,04	12,5
12,65	14,80	136,3	11,20	15,65	138,5	11,54	15,9
-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
-	-	То же	-	-	-	-	-
-	-	"	-	-	-	-	-
-	-	"	-	-	-	-	-
-	-	"	-	-	-	-	-
85,48	100	1871,9	71,63	100	1522	72,5	100,0
51,12	59,79	1521,0	42,97	59,99	1607	45,27	62,4
-	-	-	-	-	-	-	-
0,02	0,02	0,7	-	-	-	-	-
0,1	0,12	1,2	0,06	0,08	-	-	-
1,37	1,61	62,1	1,29	1,80	11,71	0,24	0,3
-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
-	-	То же	-	-	-	-	-
32,87	33,46	1666,0	27,31	38,13	1647	27,0	37,3
-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
-	-	0,4	-	-	-	-	-
85,48	100	3251,4	71,63	100	3265,71	72,51	100,0
-	-	42,3	-	-	20,0	-	-
-	-	136,5	-	-	102,0	-	-
-	-	-	-	-	6,0	-	-
-	-	5302	-	-	4886,2	-	-
-	-	4080	-	-	4000	-	-
-	-	1100	-	-	585,2	-	-
-	-	Не обн.	-	-	-	-	-

КРАБОВЫЕ ИСТОЧНИКИ

Источники расположены в средней части о.Итуруп, в долине р.Осочной в 3 км от ее устья, в 6,5 км на запад от пос.Крабовый (рис. 31).

Они впервые обследованы в 1951 г. Г.П.Сверчковым. В 1961 г. источники описал Б.Д.Шуляков и в 1962 г. — В.Е.Бевз.

Район сложен туфоконгломератами, андезитами и андезитобазальтами четвертичного возраста.

Всего насчитывается 6 выходов (по Г.В.Сверчкову), расположенных на абсолютной высоте около 250 м. Вода вытекает восходящими струями из андезитовых туфоконгломератов в 1,0–1,5 м выше уреза воды в реке. Сток в виде ручейков в реку. Г.П.Сверчков приводит максимальную температуру воды 40°C. Дебит одиночных выходов 4–6, а суммарный 20–30 л/сек.

Б.Д.Шуляков отмечает три трещины выхода на расстоянии 5–10 м один от другого. Один из выходов приурочен к трещине в туфоконгломератах, уходящей в русло. Ее видимая длина 1,5–2,0 м, ширина 0,1–1,0 см. Суммарный дебит источников 1–2 л/сек. Температура воды 27°C. В месте выхода отложения травертина.

В 20 м от первого выхода на левом берегу р.Осочной Б.Д.Шуляков встретил группу холодных сероводородных источников с небольшими дебитами. В их воде содержится 6,6 мг/л метаборной кислоты. Химический состав воды приведен в табл. 44.

Вода горячих источников имеет слегка кисловатый привкус.

Источники относятся к нейтральным, среднеминерализованным, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным, магниевым-кальциевонатриевым. Исходя из содержания в воде брома и кремниевой кислоты, она может быть названа бромной и кремнистой.

Таблица 44

Химический состав воды Крабовых источников

Компоненты	Автор обследования Б.Д.Шуляков, 1961; T(°C)=27; pH=6,6			Компоненты	Автор обследования Б.Д.Шуляков, 1961; T(°C)=27; pH=6,6		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ + K ⁺	324	14,09	45,9	NO ₂ ⁻	Сл.	-	-
NH ₄ ⁺	0,7	-	-	NO ₃ ⁻	То же	-	-
Ca ⁺⁺	171	8,55	27,8	HCO ₃ ⁻	671	11,00	37,0
Mg ⁺⁺	97,3	8,11	26,3	Σ анионов	1451,6	29,78	100,0
Fe ⁺⁺	2	-	-	HBO ₂ [*]	33	-	-
Fe ⁺⁺⁺	3	-	-	H ₂ SiO ₃	70	-	-
Σ катионов	598	30,75	100,0	Минерализация	2152	-	-
Cl ⁻	354,3	9,98	33,6	Сухой остаток	2200	-	-
I ⁻	0,3	-	-	CO ₂ своб.	277	-	-
Br ⁻	10,0	0,13	0,4				
SO ₄ ⁻⁻	416	8,67	29,0				

* Содержание HBO₂ в другом выходе 22 мг/л.

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА БУРЕВЕСТИК

Вулкан Буревестник расположен в средней части о. Итуруп в хр. Богатырь, водораздельным между стоками рек Новой, Черной и Хвойной. К околожерловой части его приурочено месторождение серы "Новое".

В вершинной части вулкана находится кальдерообразная котловина, которая значительно разрушена эрозионными процессами и имеет вид обширного сложного цирка диаметром 3,5–4 км, открытого в сторону Охотского моря. Абсолютные отметки возвышенных участков в пределах месторождения достигают 900–1200 м над ур.м.

Согласно И.П. Аверьянову, Д.П. Жижину, И.И. Тюрину, вулкан Буревестник в истоках левого притока р. Новой проявляет слабую гидросольфатарную деятельность, выраженную в выходе малодебитных термальных парогазовых струй и горячих источников (температура воды около 94°C) и поэтому может относиться к категории действующих вулканов с постепенно затухающими сольфатарными процессами.

СТОКАПСКИЕ ИСТОЧНИКИ

На юго-западной окраине хр. Богатырь возвышается несколько обособленный от других вулкан Стокап высотой 1639 м, имеющий несколько конусов и кратеров и сильно разрушенный. Стокапские источники расположены в верховьях р. Новь, в 3,2 км на восток от г. Стокап (рис. 1).

Они были обследованы в 1951 г. Л.Е. Михайловым.

Местность в районе источников представляет собой вулканическое нагорье с отметками 1000–1300 м, расчлененное многочисленными каньонообразными долинами. Район сложен четвертичными андезитами и туфоконгломератами. Ручей, дающий начало р. Новь, вытекает из-под снежника, залегающего на дне скалистого ущелья, на высоте 250 м. Ширина ущелья 25 м, высота его склонов 50 м. Перед снежником имеется небольшой конус выноса, из-под обломков которого вытекает два минеральных ручейка, впадающих в р. Новь.

Один из источников отлагает желтовато-белый осадок, похожий на серу. Вода с легким зеленовато-желтым оттенком, кисловатым вкусом, без запаха. Температура воды 8°C. Дебит источника 0,5 л/сек.

Другой источник отлагает в русле красно-коричневый осадок окислов железа. Ниже по реке встречено еще около 10 источников, подобных этому. Эти железистые источники имеют средний дебит 0,4 л/сек.

Химический состав воды первого источника, отлагающего серу, приведен в табл. 45.

Источник относится к холодным, слабоминерализованным, сильноокислым, сульфатным кальциевым.

Повышенное содержание железа в воде и наличие железистых осадков позволяют отнести воды Стокапских источников к минеральным железистым.

Таблица 45

Химический состав воды первого источника вулкана Стокап

Компоненты	Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951); аналитик М.Г. Картавова; T°(C)=8; pH=5,5			Компоненты	Автор обследования Л.Е. Михайлов (1951); аналитик М.Г. Картавова; T°(C)=8; pH=5,5		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ + K ⁺	2,5	1,07	12,9	Cl ⁻	28,0	0,8	10,2
NH ₄ ⁺	1,25	-	-	SO ₄ ⁻	328,0	6,86	87,1
Ca ⁺⁺	118,0	5,92	76,0	NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-
Mg ⁺⁺	11,0	0,87	11,1	NO ₂ ⁻	То же	-	-
Fe ⁺⁺	1,8	-	-	CO ₃ ⁻	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	2,7	-	-	HCO ₃ ⁻	12,0	0,20	2,7
Σ катионов	159,75	7,86	100,00	Σ анионов	368	7,86	100,0
				Минерализация	528	-	-
				CO ₂ своб.	92	-	-

ТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНА ХИТОКАШУ

Вулкан Хитокашу расположен в 1,5 км к юго-востоку от вулкана Стокап. Посетившие его в 1964 г. О.И. Гусев и В.В. Племма отметили следующее:

"В средней части кратера находятся слабо действующие фумарольные поля, отложившие серу". Серные руды околожерловой зоны представлены 2 выходами размером 40 × 20 м. Приурочены они к выходам газовых струй действующих фумарол.

В 1969 г., по словам Л.П. Зелепухина, фумаролы уже не отмечались.

ГИДРОТЕРМЫ ВУЛКАНА БЕРУТАРУБЕ

Вулкан Берутарубе представляет собой пологий сильно усеченный конус высотой 1222 м, расчлененный барранкосами. На вершине вулкана расположена глубокая кальдера диаметром 2-2,5 км. Кратер разрушен и наиболее крупные ущелья разрезают его вершину на несколько отдельных гребней и хребтиков. В вершинах некоторых ущелий действуют фумаролы.

На склонах вулкана имеются потоки молодых лав андезитового и андезито-базальтового состава. С вулканом Берутарубе связаны две группы минеральных источников (Железистые и Горячие). Железистые холодные источники были впервые обследованы в 1951 г. Ю.С. Желубовским. Краткие сведения о горячих источниках имеются в работах Г.В. Корсунской (1948) и В.И. Владыца (1949). В 1957 г. источники обследованы и опробованы Е.К. Мархиным. Горячие ис-

точники расположены на склоне вулкана Берутарубе, ниже вершины 1033 (г.Серная).

Химический состав воды одного из горячих источников вулкана Берутарубе приведен в табл. 46. По составу эти воды следует отнести к хлоридно-сульфатным натриево-кальциево-алюминиево-железистым. В воде обнаружено повышенное содержание фтора и кремнекислоты (табл. 46).

Железистые холодные источники расположены на восточном склоне вулкана, в верховьях безымянной речки, в 1,8 км на север-северо-восток от вершины вулкана Берутарубе.

Выходы минеральных вод приурочены к толще сильно измененных, лимонитизированных, трещиноватых туфоконгломератов, перекрытых слабосцементированными, осветленными туфами. Падение толщи туфоконгломератов на юго-восток - 120° под углом 15°. Источники расположены в нижней части склона каньонообразной долины. Общая протяженность выхода вод 600-800 м. Вода высачивается из трещин в ржаво-бурых конгломератах и их отдельных округлых отверстий. Общий дебит источников установить невозможно, так как выходы рассредоточенные, но отдельные струи имеют дебит до 0,25 л/сек. Вода прозрачная, слабо опалесцирует, издает сильный запах сероводорода. На поверхности камней, находящихся в русле источника, имеются налеты серы. В воде много железа, которое выделяется у выхода воды на поверхность и образует на склонах скопления лимонита в виде корки толщиной до 10-12 см. У подошвы склонов наблюдаются более мощные скопления лимонита, образующие своего рода шлейфы (мощность слоя лимонита 20-30 см, иногда до 70 см, ширина полосы до 10 м). Лимонит выделяется непрерывно, об этом свидетельствуют его свежие налеты, а также то, что в лимонитовую массу включены не только листья и сучья, но и куски древесины, обработанные топором.

Таблица 46

Химический состав воды одного из горячих источников Берутарубе

Компоненты	Автор обследования Е.К. Мархинин (1957); T(°C)=30; pH=2,45			Компоненты	Автор обследования Е.К. Мархинин (1957); T(°C)=30; pH=2,45		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	207,0	9,03	11,15	Cl ⁻	367,1	10,33	12,76
K ⁺	9,8	0,25	0,31	F ⁻	1,0	0,05	0,06
NH ₄ ⁺	1,8	0,06	0,08	HSO ₄ ⁻	682,2	7,02	8,08
Ca ⁺⁺	304,3	18,21	22,49	SO ₄ ⁻⁻	2075,2	64,07	79,10
Mg ⁺⁺	69,3	5,7	7,04	Σ анионов	4125,5	81,47	100
Fe ⁺⁺	71,0	2,54	3,63	H ₂ SiO ₃	260		
Fe ⁺⁺⁺	391,0	21,0	26,00	Минерализация	5683,4		
Al ⁺⁺⁺	181,0	20,1	24,90				
H ⁺	3,5	3,50	4,40				
Σ катионов	1297,9	80,39	100,0				

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОСТРОВА КУНАШИР

НЕСКУЧЕНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Расположены на северо-западном побережье острова и прослеживаются вдоль берега на расстоянии примерно 1,5 км. Источников много, но дебит свыше 0,5 л/сек имеют только некоторые из них. Тем не менее суммарный дебит всей группы вряд ли меньше 10 л/сек. Горячие источники и выходы пара располагаются частью среди прибрежных галечников в зоне прибоя, частью приурочены к невысоким морским террасам с отметками порядка 10-12 м. Максимальная температура воды в них по нашим замерам составляла 96°. Пар имеет температуру 100° и поднимается с незначительным избыточным давлением порядка нескольких миллиметров ртутного столба. Воды Нескученских источников слабуминерализованные сульфатно-гидрокарбонатные с различным катионным составом.

ИСТОЧНИК ДОБРЫЙ КЛЮЧ

Находится на линии разлома, проходящей от вулкана Головнина к вулкану Тятя, и, по-видимому, обусловлен этим разломом (рис.1). Источник представляет собой единственный выход горячей воды с температурой 67°C, расположенный примерно на половине расстояния между вулканами Менделеева и Тятя. Воды почти нейтральные, сульфатно-хлоридные, кальциево-натриевые с невысокой минерализацией. Они содержат бром, фтор, медь, мышьяк (табл. 47).

Источник Добрый Ключ используется местным населением в лечебных целях.

От Южно-Курильска к источникам можно проехать по грунтовой дороге.

Таблица 47

Химический состав воды источника Добрый Ключ

Компоненты	Автор обследования Б.В. Стыркович (1951); аналитик Т.В. Долматова; T(°C)=87; pH=6,8			Автор обследования В.В. Иванов (1954); T(°C)=68,2; pH=8,0
	мг/л	мг-эquiv.	% equiv.	мг/л
Na ⁺	362,0	15,77	75,1	350,5
K ⁺	10,2	0,26	1,2	3,1
NH ₄ ⁺	1,0	0,05	0,3	0,1
Ca ⁺⁺	93,50	4,67	22,2	98,0
Mg ⁺⁺	30,0	0,25	1,2	8,7
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	Не обн.
Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	То же
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	3,3
Mn ⁺⁺	-	-	-	Не обн.

Таблица 47 (продолжение)

Компоненты	Автор обследования Б.В. Стырикович (1951); аналитик Т.В. Долматова; T(°C)=87; pH=6,8			Автор обследования В.В. Иванов (1954); T(°C)=68,2; pH=8,0
	мг/л	мг-экв.	мг/л	мг/л
Sr ⁺⁺	-	-	-	0,6
Cu ⁺⁺	-	-	-	0,03
Ti ⁺⁺⁺⁺	-	-	-	Не обн.
Ba ⁺⁺	-	-	-	То же
Σ катионов	496,7	21,0	100,0	464,3
Cl ⁻	477,4	13,46	64,1	477,0
I ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.
Br ⁻	0,2	0,02	0,1	0,6
F ⁻	-	-	-	1,0
SO ₄ ⁻⁻	341,8	7,12	33,9	346,4
NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.
NO ₂ ⁻	0,1	-	-	То же
CO ₃ ⁻⁻	Не обн.	-	-	-
HCO ₃ ⁻	24,0	0,40	1,9	34,8
HAsO ₄ ⁻⁻	-	-	-	0,7
PO ₄ ⁻⁻	-	-	-	Не обн.
Σ анионов	843,5	21,0	100	859,8
HBO ₂ [*]	Не обн.	-	-	9,8
H ₂ SiO ₃	94	-	-	73,6
Минерализация	1434	-	-	1408
Сухой остаток	1406	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	Не обн.

* По данным О.К. Калишевича, содержание в воде HBO₂ составляет 8 мг/л.

Таблица 47 (продолжение)

Компоненты	Автор обследования В.В. Иванов (1954); T(°C)=68,2; pH=8,0		Автор обследования Б.В. Стырикович (1951); аналитик С.Г. Чапышева; T(°C)=87; pH=6,2		
	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	15,24	71,63	230	11,06	49,37
K ⁺	0,08	0,38	-	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	1,2	-	-
Ca ⁺⁺	4,90	23,02	97,0	4,86	21,7
Mg ⁺⁺	0,71	3,33	79,0	6,48	28,93
Fe ⁺⁺	-	-	0,5	-	-
Fe ⁺⁺⁺	-	-	0,5	-	-
Al ⁺⁺⁺	0,36	1,64	-	-	-
Mn ⁺⁺	-	-	-	-	-

Таблица 47 (окончание)

Компоненты	Автор обследования В.В. Иванов (1954); T(°C)=63,2; pH=8,0		Автор обследования Б.В. Стыркович (1951); аналитик С.Г. Чапышева; T(°C)=87; pH=6,2		
	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Si ⁺⁺	-	-	-	-	-
Cu ⁺⁺	-	-	-	-	-
Ti ⁺⁺⁺⁺	-	-	-	-	-
Ba ⁺⁺	-	-	-	-	-
Σ катионов	21,28	100	408,2	22,4	100
Cl ⁻	13,45	63,21	560	16,0	71,43
I ⁻	-	-	-	-	-
Br ⁻	-	-	-	-	-
F ⁻	0,05	0,23	-	-	-
SO ₄ ²⁻	7,21	33,88	300	6,2	27,68
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻	-	-	0,05	-	-
CO ₃ ²⁻	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	0,28	2,68	12,00	0,2	0,89
NaSO ₄ ⁻	-	-	-	-	-
PO ₄ ³⁻	-	-	-	-	-
Σ анионов	21,28	100	872	22,4	100
HVO ₂	-	-	-	-	-
H ₂ SiO ₃	-	-	-	-	-
Минерализация	-	-	1280	-	-
Сухой остаток	-	-	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	-	-

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА

Горячие источники, грязевые вулканчики и парогазовые струи, температуры в которых достигают 100°, располагаются на склонах вулкана группами, образуя сольфатарные поля. Четыре основных сольфатарных поля расположены полукольцом, примерно на равной высоте (350–400 м) (рис. 18). Полукольцо замыкается в полный овал полукольцом горы Мечникова.

Юго-восточное сольфатарное поле

Поле впервые изучено Е.К. Мархиным в 1954 г. Расположено в истоках ручья Четверикова. Имеет циркулярную форму и вытянуто по направлению ручья. Его размеры – 250×300 м. В верхней части поля много мелких газовых струй. Выходы газа приурочены к трещинам в андезитах и их туфобрекчиях. Преобладающие направления трещин – северо-западное и северо-восточное. Левый исток ру-

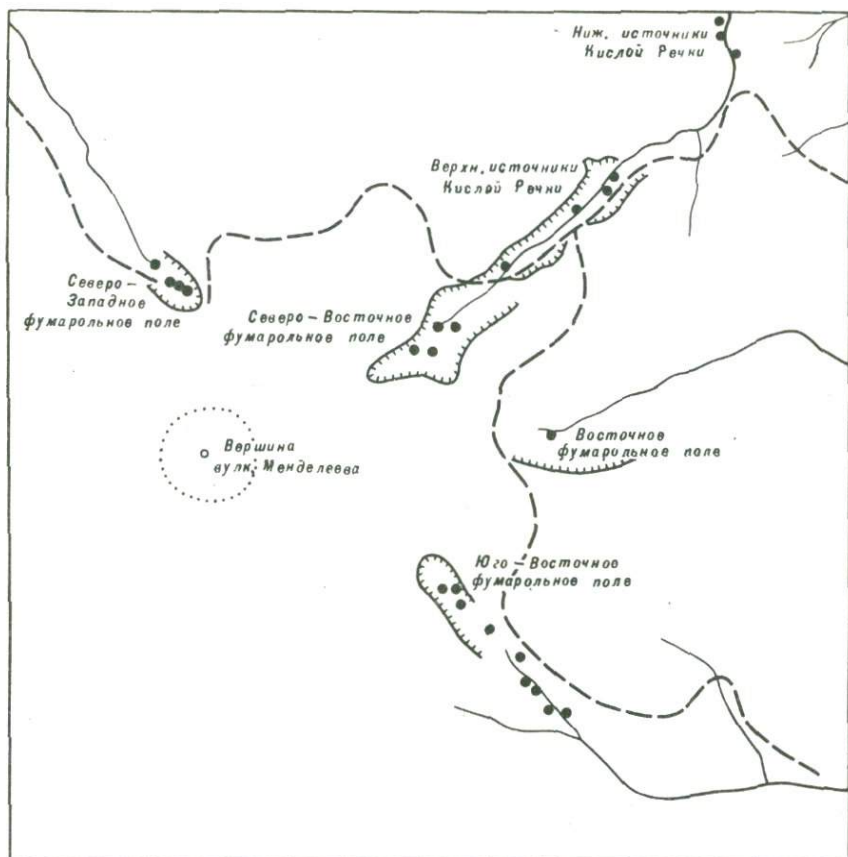


Рис. 18. Схема местоположения фумарольных полей вулкана Менделеева

чья Четверикова берет начало из-под этого сольфатарного поля; температура воды истока в самой верхней части составляет несколько десятков градусов.

Выходы подземных вод обнаружены в истоках и русле ручья Четверикова и представлены несколькими группами термальных и холодных минеральных источников, имеющих единую генетическую природу.

Верхние термальные источники расположены в 300 м северо-западнее сольфатарного поля и примерно на 70–80 м ниже его (абс. от. 350 м).

Выделяются три обособленных грифона (в 3–5 м один от другого). Но основная разгрузка происходит в русле ручья, в виде крупных нисходящих струй. Отдельные маломощные струи видны в подножии левого борта из сильно сульфидизированных андезитов.

Суммарный дебит всех струй порядка 5 л/сек, температура 50–58 °С.

В местах выхода термальных вод развиты термофильные водоросли, ощущается сильный запах сероводорода. Вода кислая ($\text{pH}=2,5$), кремнистая (H_2SiO_3 - 260 мг/л), сульфатнохлоридная, со сложным катионным составом (Н, К, Na, Ca, Mg, Fe, Al) и минерализацией около 1 г/л.

Нижние термальные источники. Два других отчетливо фиксируемых термальных источника расположены, соответственно, в 120 и 250 м ниже по ручью от вышеописанного и по условиям образования аналогичны с верхним источником, отличаясь от него значительно меньшим дебитом - 0,27 и 1,0 л/сек, температурой - 31 и 33⁰С.

В местах их выхода породы сильно обелены (опализированы). Далее вниз по ручью от источников на протяжении около 1 км в тальвеге и по подножию бортов выходят лишь гидротермально измененные породы, свидетельствующие о циркуляции здесь в прошлом термальных вод.

В 1 км от сольфатарного поля расход ручья Четверикова составляет 18,9 л/сек с температурой воды в нем 21⁰С (при температуре воздуха 11⁰С).

Восточное сольфатарное поле

Впервые описано Е.К. Мархининым в 1954 г., находится в истоках ручья Лечебный. Здесь сольфатары наблюдаются по обеим сторонам ручья, образуя два горячих озера. Кроме них существует еще несколько отдельных выходов газа и горячей воды по берегам и в прирусловой части долины ручья. Вода в горячих озерах в отдельных местах вследствие бурного газовыделения "кипит". Кое-где со дна озера спокойно, но непрерывно поднимаются газовые пузырьки. Во многих местах породы, будучи, вероятно, первоначально представлены главным образом андезитом, изменены до состояния глины. Это вызвало образование нескольких грязевых вулканчиков, высота которых достигает 1 м.

В.В. Ивановым в 1955 г. выделено здесь две подгруппы источников - Западная и Восточная, находящихся на расстоянии 50-80 м одна от другой.

В Западную подгруппу входят небольшое горячее озеро (размером 10 × 15 м, глубиной более 5 м) и многочисленные, расположенные вокруг озера грязевые вулканчики и воронки. Высота грязевых вулканчиков порядка 1 м. Термальная площадка размером 25×30 м сложена пестрыми глинами. Из озера вытекает ручеек с расходом в 2 л/сек. При этом В.В. Иванов отмечает, что приток термальных вод в озеро не более 10-15% этого расхода. Из озера и окружающих его грязевых воронок интенсивно выделяется газ. Температура воды в озере достигает 60-65⁰С. В грязевых котлах температура воды до 95⁰С. Температура грязи в котле на северо-восточном берегу озера достигает 101,5⁰С.

Восточная подгруппа, в общем, почти не отличается от Западной. Она включает несколько кипящих озерков глубиной до 0,5 м и мно-

Таблица 48

Химический состав гидротерм вулкана Менделеева

Компоненты	Восточное сольфатарное поле. Автор Е.К. Мархинин (1959); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=97; pH=2,63			Северо-западное сольфатарное поле. Автор Е.К. Мархинин (1959); ана- литик Е.П. Рябичкина; T(°C)=98; pH=1,65		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
H ⁺	2,3	2,30	10,35	16,6	16,60	44,90
Na ⁺ , K ⁺	10,5	0,46	2,00	-	-	-
Mg ⁺⁺	21,8	1,79	8,03	12,2	1,00	2,70
Ca ⁺⁺	123,5	6,14	27,74	103,0	5,14	13,90
Fe ⁺⁺	106,8	3,82	17,36	0,6	0,02	-
Fe ⁺⁺⁺	35,1	1,88	8,44	7,4	0,40	1,10
Al ⁺⁺⁺	36,0	4,0	18,08	123,1	13,69	37,10
NH ₄ ⁻	31,7	1,76	8,0	2,0	0,11	0,30
Σ катионов	368,8	25,15	100,0	263,7	36,96	100,0
Cl ⁻	14,1	0,40	1,81	484,3	1,5	0,47
SO ₄ ⁻⁻	1004,1	20,90	95,0	1218,2	25,35	68,34
HSO ₄ ⁻	94,0	0,98	3,19	1062,5	11,05	30,00
Σ анионов	1112,2	22,28	100,00	2297,4	36,87	100,00
H ₂ SiO ₃	429,2			365,7		
Минерализация	1910,2			2926,8		

жество грязевых воронок и вулканчиков. Дебит источников ничтожен. Температура воды в озерах 80–100°C. Ее химический состав приведен в табл. 48.

Непосредственно ниже и выше гидросольфатар имеются единичные малодебитные источники восходящего, реже нисходящего типа, с ультракислой водой, с сильным запахом H₂S и температурой 40–46°C.

В 500 м вниз по ручью Лечебному от гидросольфатарного поля на абс. высоте 200–250 м выходит группа источников из сульфидизированных агломератовых туфов в виде слабых нисходящих струй на протяжении около 200 м.

Наиболее интенсивная разгрузка термальных вод происходит в конце интервала, где они имеют температуру 41°C.

На путях стока термальных вод отлагается не только сульфурит, но и гейзерит серовато-белого цвета, или в подножии правого борта сложены террасы длиной около 10 м, шириной 3–5 м и высотой 2 м.

Вода источников слабокислая, кремнистая, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевая с минерализацией 0,43 г/л. Суммарный видимый сток на этом участке около 0,5 л/сек.

Северо-восточное сольфатарное поле

Поле представляет собой, по-видимому, несколько слившихся воронок взрыва, в дальнейшем увеличенных эрозией. Оно расположено в истоках ручья Кислый; площадь его — около 2 км². Здесь в трещинах и трещинках отмечено очень большое число выходов газа и особенно на пересечении трещин. Разрушая и выбрасывая породу отдельными крошками, газ сам создает поры и пустоты, часто прикрытые только корками пирокластической породы. Там, где имеются выходы газов, порода сплошь пронизана серой, цементирующей отдельные кусочки породы и выполняющей трещины в ней.

В нескольких сотнях метров ниже северо-восточного сольфатарного поля по ручью Кислый, параллельно его течению, много мелких газовых струй, выходов горячей воды и небольших (до 0,5 м в поперечнике) грязевых котлов. Выходы их приурочены к сильно измененным иногда полностью разложенным агломератам. Через жидкую грязь в грязевых котлах пробиваются струйки газа.

Северо-западное сольфатарное поле

Оно расположено в истоках правого верхнего притока реки Лесной, вблизи основания экструзивного купола. Площадь около 0,05 км².

Северо-западное поле характеризуется небольшим количеством отдельных газовых струй, но зато здесь имеются две расположенные по средству, очень сильные газовые струи, причем давление паров в них таково, что они отбрасывают обломки породы. Пары иногда выбрасывают мелкие брызги расплавленной серы.

В районе северо-западного поля есть несколько групп термальных источников.

I группа источников расположена на участке протяженностью 500 м к западу и северу от сольфатарного поля на абс. высоте 340–390 м. Для этой группы характерны повсеместные отложения сульфурита и наиболее интенсивное выделение H₂S из всех известных групп источников на вулкане Менделеева.

Выходы источников приурочены к разложившимся до синих глин сульфидизированным туфам. Разгрузка гидротерм происходит преимущественно в виде нисходящих непрерывно следующих одна за другой струй, лишь отдельные струи имеют слабонапорный восходящий характер.

Особенно интенсивная разгрузка происходит на западном участке группы. Ближайший к полю источник, расположенный в 10 м к северу от западной сольфатары, образовался, по-видимому, в результате конденсации парогазовых струй у поверхности земли.

На путях стока термальных вод развиты зеленые термофильные водоросли. Суммарный дебит порядка 13 л/сек. Температура воды колеблется от 20 до 95°С, уменьшаясь с удалением от сольфатарного поля до 20–33°С.

Вода источников сильно кислая, pH=2,5–3,0, кремнистая (H₂SiO₃⁻ 366 мг/л), преимущественно сульфатно-хлоридная, реже хлоридно-

сульфатная и сульфатная со сложным катионным составом (Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, H) и общей минерализацией до 4,4 г/л (табл. 48).

По данным В.В. Иванова, в водах содержится H_2S - 25-45 мг/л, H_2SiO_3 - 350-380 мг/л, pH - 1,7-1,9, минерализация до 4,9 г/л. Содержание хлора в этих водах, по В.В. Иванову, не превышает 85-92 мг/л, что значительно ниже установленного в 1964 г.

II группа источников расположена в русле двух ручьев, берущих начало с сольфатарного поля, в 1 км к северо-западу от него, на абсолютных отметках около 190-220 м. Для этой группы характерны обильные отложения (в местах выхода источников) гидроокислов железа красно-бурого цвета.

Выходы термальных вод приурочены к синеватым сульфидизированным туфобрекчиям и прослеживаются на протяжении нескольких десятков метров в виде слабо нисходящих, реже восходящих струй.

Суммарный дебит всех струй порядка 3-4 л/сек, температура не превышает 40°C, колеблясь от 20-25 до 35-38°C. Воды сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-магниевого с повышенным содержанием закисного железа и алюминия и общей минерализацией около 1 г/л.

III группа источников расположена в 500-700 м к северо-востоку от сольфатарного поля и приурочена, в основном, к небольшим воронкам взрыва периода газовой эксплозии.

Почти повсеместно в местах выхода и стока минеральных вод развиты отложения сульфуритов, ощущается довольно сильный запах сероводорода. Температура воды в целом для всей группы довольно низкая (до 13°C), хотя отдельные выходы имеют температуру до 30-45°C.

Характерен пластовый нисходящий тип разгрузки протяженностью от 40 до 170 м. Суммарный дебит порядка 6 л/сек. Воды кислые (pH < 4), сульфатно-хлоридные со сложным катионным составом и минерализацией до 1,5 г/л.

IV группа источников расположена в 2,5 км к северо-западу от сольфатарного поля в пойме р. Лесной на абсолютной отметке 140-150 м.

Термальная вода выходит в виде слабых восходящих грифонов из пойменных осадков на протяжении около 300 м, преимущественно у правого склона долины. Дебит всех струй составляет около 1,0 л/сек. Очевидно, большая часть термальной воды не достигает поверхности земли, фильтруясь в рыхлые гравийно-галечниковые и песчано-суглинистые отложения.

Температура воды колеблется от 18-20 до 33°C. Вместе с водой выделяются слабые пузырьки газа. На путях стока и в местах выхода отлагается интенсивный осадок красно-бурых гидроокислов железа.

В прослоях галечников встречаются отдельные маломощные линзы белых гидротермальных глин.

Вода на вкус слабокислая (pH=7), кремнистая (H_2SiO_3 = 100-120 г/л), гидрокарбонатно-кальциево-магниевого с общей минерализацией около 1 г/л.

Горячие источники Кислой речки

Находятся в верхнем течении Кислой речки¹, берущей начало на северо-восточных склонах вулкана Менделеева.

Первое описание этих источников сделано в 1951 г. Б.В. Стыриковичем. Позднее эти источники изучали В.В. Иванов (1955) и О.К.Калишевич (1959). Кроме того, сведения об этих источниках имеются в работах Е.К.Мархинина (1956, 1959), В.В.Иванова (1956, 1958), С.И.Набоко (1959) и Г.В.Корсунской (1958). Материалы Б.В.Стыриковича и В.В.Иванова существенно использованы в данном описании.

Долина Кислой речки большей частью узкая, каньонообразная. Уклон реки довольно большой, русло порожистое. Борты долины сложены породами среднего туфогенного комплекса. Во многих местах породы сильно изменены и превращены в пестроцветные структурные глины. Общая вытянутость долины в северо-восточном направлении и характерная форма заставляют продолжить приуроченность ее к тектоническому нарушению того же направления.

Горячие источники Кислой речки подразделяются на две группы: Верхнюю и Нижнюю, которые располагаются в 1,8–2,0 км друг от друга.

Верхняя группа источников² расположена в 4 км на запад-юго-запад от пос. Горячий Пляж, в 0,8 км от северо-восточного fumarольного поля вулкана Менделеева, на левом берегу речки Кислой. Абсолютная отметка выходов 180–200 м.

Здесь на участке протяженностью около 120 м вдоль русла речки находится более 100 мелких выходов горячих вод. Самые верхние (по течению) выходы воды представляют собой небольшие прозрачные ручейки с ничтожным дебитом. Ниже по течению большинство источников приурочено к отверстиям диаметром до 0,3–0,5 м.

Один из выходов представляет собой kloкочущие и брызжущие водоемы. Вместе с водой выбрасывается мелкий песок и гравий. Другие — настоящие грязевые воронки с кипящей темно-серой глинистой массой, из которой интенсивно выделяются пузырьки газов. Постоянный сток из таких выходов крайне невелик, иногда совсем отсутствует. Кроме этого имеется много мелких выходов, которые "шипят" или "фырчат".

Над самыми крупными выходами поднимаются струи пара. Эти струи особенно хорошо видны в холодную погоду. В воздухе чувствуется сильный запах сероводорода.

Общий дебит источников подсчитать невозможно, так как большинство струек сразу же смешиваются с водой ручья. Наиболее круп-

¹ В некоторых работах называется ручьем Кислым.

² В.В. Иванов называет эту группу Менделеевскими Северо-Восточными источниками.

Рис. 19. Схема нижней группы источников Кислой речки (цифры обозначают температуру и pH)

ные источники имеют дебит около 0,5–1,0 л/сек. Температура воды от 60 до 100°C. Температура пара достигает 100–110°C. В русле речки, на валунах имеются минеральные отложения в виде белых и желтых корочек.

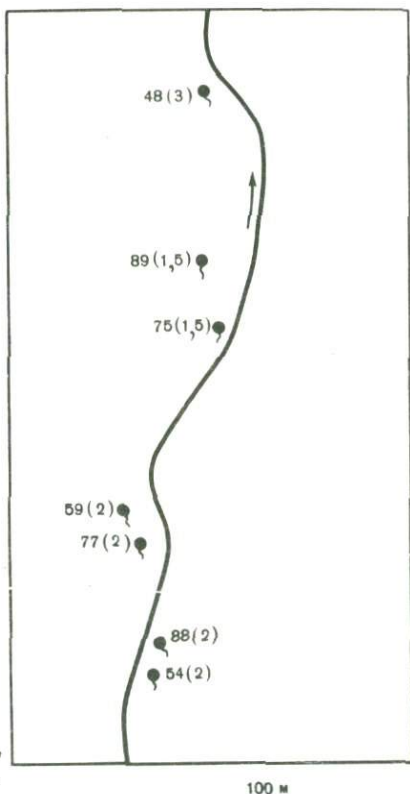
Нижняя группа источников¹ находится в 3,0 км на запад-северо-запад от пос. Горячий Пляж, в 1,7 км ниже по течению от Верхней группы источников (рис. 19). Абсолютная отметка выходов источников около 65 м.

Основная группа расположена на уступе левого берега реки на высоте 1–1,5 м над урезом воды.

Главный грифон приурочен к трещине у подошвы склона долины, ширина трещины 3 см, длина 30 см. Температура воды, по Б.В. Стриковичу – 95,5°C, по В.В. Иванову – 91,5°C, по О.К. Калишевичу – 80°C, по Е.К. Мархишину в 1954–55 гг. – 92°C, по Ю.А. Аникиеву в 1973 г. – 88–89°C. Из этого грифона периодически выделяются довольно крупные пузырьки газа. Источник сильно парит. В месте выхода на дне ручейка отлагается сульфурит. Вода растекается по уступу и течет, медленно охлаждаясь. На расстоянии 10 м от выхода она имеет температуру уже 82°C и отлагает дисперсную глину. Дальше на расстоянии 10–25 м, осаждаются уже ярозит, при этом температура воды 70°C.

Рядом расположен второй выход несколько меньших размеров. Температура воды в нем 91,0°C. Еще более мелкие источники наблюдаются около уреза воды в реке.

Суммарный дебит источников, по В.В. Иванову, – 7,0 л/сек. Вода стекает по уступу террасы широким потоком в русло реки. Температура воды в реке 25°C. На камнях у истоков незначительные скопления серы белых игольчатых кристалликов. Кроме этого, в 200 м вверх по течению, на правом берегу имеется ряд выходов газов, паров и мелких источников. Выходы расположены на речной



¹ В.В. Иванов называет эти источники Нижнеменделеевскими.

отмели и приурочены к небольшим отверстиям между валунами. Кругом чувствуется слабый запах сероводорода. Температура газа 60–35 °С. Температура воды по О.К. Калишевичу – 70–76 °С. Валуны покрыты красновато-желтым налетом. Рядом около самого русла реки выходит минеральный источник. Его вода сразу смешивается с водой реки. Температура воды 91 °С.

В работе С.И. Набоко (1959) имеются данные по осаждению гидратов окиси алюминия и железа в виде глинистого осадка в русле Кислой речки. Она пишет: "Каменистое дно речки участками покрыто глиной ржавого цвета, участками свободно от нее. Осадок отсутствовал в тех местах, где речка протекала мимо сольфатарного поля и в нее втекали термальные кислые воды. На некотором расстоянии от таких мест на дне речки появляется осадок, глины.

В месте впадения ручья горячей воды с сольфатарного поля вода в стоянии в местах, где наблюдалось образование ржавого осадка, в воде pH=4,6.

Размер участка речки с чистым дном зависит от количества притекающей в речку термальной воды. Кислая сульфатная и сульфатно-хлоридная вода (pH меньше 2), богатая алюминием и железом, попадает в реку, смешивается с ее водой. Кислотность при этом уменьшается и когда pH повышается до 4,5, из воды выпадают гидраты железа. Они образуются, например, в результате гидролиза сульфата железа по реакции $FeSO_4 + 2H(OH) \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2SO_4$; $Fe(OH)_2$ вслед за этим окисляется до $Fe(OH)_3$.

Воды Верхней и Нижней групп источников несколько различаются по химизму. Отличаются они также и по составу газов (табл. 49).

В районе Верхней группы источников выделяются углекислые термы с повышенным содержанием сероводорода и метана. В то же время в районе Нижней группы источников, более удаленной от центра вулкана, выходят типичные азотные термы.

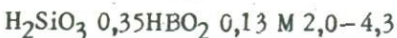
Таким образом, формула Курлова для каждой группы будет выглядеть различно, а именно:

Для Верхней группы источников:



$$-3,3 \frac{(SO^4 + HSO^4) \ 86-95}{Al \ 40-59 \ Na \ 1-31 \ (Fe^{++} + Fe^{+++}) \ 16-21} \ T \ 64 - 99°;$$

Для Нижней группы источников:



$$\frac{(SO^4 + HSO^4) \ 52-84 \ Cl \ 16-48}{H33-38 \ Al \ 5-17 \ (Fe^{++} + Fe^{+++}) \ 15} \ T \ 91 - 98°.$$

Воды Верхней группы источников Кислой речки относятся к сильноокислым, среднеминерализованным, метаново-сероводородно-

Таблица 49

Состав газов Верхней и Нижней групп источников Кислой реки

Место отбора пробы, автор	Температура, °С	Газ	Содержание в объемных %			
			CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄
Верхняя группа. "Грязевой ключ". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	97	Свободный	-	84,48	4,60	2,54
Верхняя группа. "Голубой ключ". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	99	То же	0,0	90,08	5,10	1,24
Верхняя группа. "Грязевой". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	95	"	0,0	79,93	16,34	0,81
Кислая речка. Выход газа. С.И. Набоко (1959)	-	"	-	87,07	-	2,4
Нижняя группа. В.В.Иванов, 1954 г. (1957)	91,3	"	0,0	10,82	0,0	0,0
Нижняя группа. Газ. С.И. Набоко (1959)	-	"	-	10,55	-	0,35

Таблица 49 (окончание)

Место отбора пробы, автор	Температура, °С	Газ	Содержание в объемных %			
			C _n H _m	H ₂	N ₂ +редкие	O ₂
Верхняя группа. "Грязевой ключ". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	97	Свободный	-	-	8,35	-
Верхняя группа. "Голубой ключ". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	99	То же	0,0	0,0	3,58	0,0
Верхняя группа. "Грязевой". В.В.Иванов, 1953 г. (1957)	95	"	0,0	0,0	2,93	0,0
Кислая речка. Выход газа. С.И. Набоко, (1959)	-	"	-	0,7	9,83	-
Нижняя группа. В.В.Иванов, 1954 г. (1957)	91,3	"	0,0	0,0	89,18	0,0
Нижняя группа. Газ. С.И. Набоко (1959)	-	"	-	0,40	87,70	1,00

углекислым, сульфатным, натриево-алюминиевым, в то время как воды Нижней группы источников следует отнести к сильноокислым, среднеминерализованным, азотным, хлоридно-сульфатным алюминievo-водородным. Необходимо отметить резко повышенное содержание таких компонентов, как сероводород, железо, мышьяк, фтор, фосфор, бор и кремнекислота.

Таблица 50

Содержание микрокомпонентов в гидротермах Кислой реки

Место отбора проб	Компоненты			
	Mn	Ti	V	Ba
Верхняя группа. В.В. Иванов (1955)	0,1-0,2	1,3-2,0	0,01-0,02	0,1-0,3
Нижняя группа. В.В. Иванов (1955)	4,3-13,9	0,17-0,20	0,02-0,03	4,3-13,0

Таблица 51

Химические и спектральные анализы минеральных отложений Горячих источников

Место отбора пробы, автор	Компоненты							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
Глинистый осадок в русле Кислой реки. С.И. Набоко, 1959 г.	6,39	Не обн.	3,32	60,03	-	-	-	-
Осадок ярозита в русле источника. Нижняя группа. С.И. Набоко, 1958 г.	14,80	То же	1,08	37,28	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,04

Таблица 52

Химические и спектральные анализы минеральных отложений Горячих источников

Место отбора пробы, автор обследования	Компоненты			
	Si	Al	Mg	Ca
Нижняя группа. Отложения источников. В.В. Стырикович, 1951 г.	1	0,01-0,1	0,01	10
Нижняя группа. Отложения источников. В.В. Стырикович, 1951 г.	Mn.	Обн.	Обн.	Обн.
Нижняя группа. Глина на дне. С.И. Набоко (1959)	Обн.	То же	-	-
Нижняя группа. Осадок ярозита. С.И. Набоко (1958)	Mn.	"	Не обн.	Обн.
Верхние источники Кислой реки. Минеральные отложения. В.В. Стырикович, 1951 г.	0,1 1,0	0,01-0,1	0,01	Не обн.

Компоненты									
Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Cl	As ₂ O ₃	Br	H ₃ BO	P ₂ O ₅	H ₂ O	Сумма
0,10	-	12,44	-	0,68	-	-	-	17,35	99,63
3,17	3,16	25,33	Не обн.	0,80	Не обн.	Не обн.	Не обн.	12,45	99,11

Компоненты					
Fe	Mn	Na	K	Ti	V
0,1- 1,0 Обн.	0,001- 0,01 Обн.	0,1- 1,0 Обн.	- Не обн.	- -	- Не обн.
Мн.	-	То же	-	Не обн.	0,0
То же	Не обн.	'	Обн.	То же	0,00
10	0,001- 0,01	0,1- 1,0	-	-	0,1 1,0

Таблица 52 (окончание)

Место отбора пробы, автор обследования	Компоненты				
	Ва	Мо	Сu	Ni	Со
Нижняя группа. Отложения источ- ников. Б.В. Стырикович, 1951 г.	Не обн.	-	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Нижняя группа. Отложения источ- ников. Б.В. Стырикович, 1951.	Не обн.	Не обн.	Обн.	-	-
Нижняя группа. Глина на дне. С.И. Набоко (1959)	-	0,00п	0,00п	-	-
Нижняя группа. Осадок ярозита. С.И. Набоко (1958)	-	0,000п	-	-	-
Верхние источники Кислой речки. Минеральные отложения. Б.В. Сты- рикович, 1951 г.	1,0	-	Не обн.	Не обн.	Не обн.

Кроме этого в значительных количествах содержится марганец.

В.В. Иванов приводит данные (мг/л) по содержанию микроэлементов в воде источников Кислой речки (табл. 50). В таблицах 51 и 52 приведены химические и спектральные анализы минеральных отложений источников (в вес. %). Как видно из таблиц, осадки по составу в основном железистые с повышенным содержанием As, Pb, Mo, Ga, Zn и Zr. По В.В. Иванову (1958), эти воды относятся к фумарольным термам глубинного формирования. Воды источников кислые, бесцветные, прозрачные, обычно с запахом сероводорода.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ РУЧЬЯ ДОКТОРСКОГО

Указанные источники, расположенные в верхнем и нижнем течениях ручья Докторского, берущего начало с северо-восточного склона, делятся на соответствующие группы: верхнюю и нижнюю.

Последняя группа, известная как "Кислый ключ", впервые описана в 1951 г. Б.В. Стыриковичем. Детально она обследована в 1953-1954 гг. В.В. Ивановым и в 1964 г. Б.Д. Шуляковым.

Отдельные сведения об источниках этой группы имеются в работах Е.К. Мархинина (1956, 1959), В.В. Иванова (1956, 1958), В.И. Влодавца (1949), Г.В. Корсунской (1956, 1958) и О.К. Капишевича.

Источники верхней группы впервые детально описаны в 1964 г. Б.Д. Шуляковым.

В основу настоящего описания источников ручья Докторского положены материалы Б.Д. Шулякова.

Расширенное каменистое плато в северо-восточных отрогах вулкана Менделеева окружено со всех сторон возвышенностями с относительными отметками 60-120 м. Это плато прорезает узкая долина ручья Докторского. Ширина ручья 1-2 м, глубина не превышает

Компоненты						
Zn	Pb	P	Zr	B	As	
-	-	He обн.	-	-	-	-
-	0,1 1,0	-	-	Обн.	-	-
Zn	-	-	0,0 п	-	-	-
-	0, п	He обн.	0,00 п	He обн.	0, п	-
He обн.	0,1- 1,0	-	-	-	-	1-10

0,5 м. Уклон ручья значительный, течение быстрое. Склоны ручья густо поросли елью, пихтой с подлеском из рябины, клена, ольхи и бамбука.

ВЕРХНЕДОКТОРСКАЯ ГРУППА ГИДРОТЕРМ

Верхнедокторская группа гидротерм расположена в верхнем течении ручья Докторский в 500-600 м к востоку от Нижнеменделеевской группы гидротерм на абсолютных отметках 70-90 м.

Термальные источники образуют почти сплошной очаг разгрузки на протяжении 300 м по подножию левого борта и в русле ручья Докторского (рис. 20). Выход гидротерм приурочен к желтовато-бурым рыхлым псефитовым туфам верхнечетвертичных отложений, на участке разгрузки гидротерм интенсивно обеленных, а местами превращенных в ярко-красные глины. В пониженных участках рельефа гидротермами образовано два горячих озера. В верхнем бессточном озере (размерами 20×30 м) вода скапливается только в период выпадения осадков, глубина его не более 30-40 см, дно плоское, сложено мелкоплитчатым (2×2 м) ярозитом. Температура воды в озере не постоянная и колеблется от 30 до 56°C, вода сильно кислая.

Плитчатые ярозиты к западу от озера переходят в плотные натечные, образуя сухое русло ручья (сток с озера происходит в период ливневых осадков), в нижней части которого выходит несколько малобитных термальных источников с температурой 40-46°C.

Нижнее озеро размером 15×10 м, глубиной до 1,0 - 1,5 м имеет постоянный сток около 1,0-1,5 л/сек, образующийся как за счет пластовой разгрузки гидротерм по берегам озера из псефитовых туфов, так, видимо, и со дна озера.

Дно его вязкое, глинистое, сплошь покрыто термофильными зелеными водорослями. Температура воды, выходящей из озера, 45-50°C.

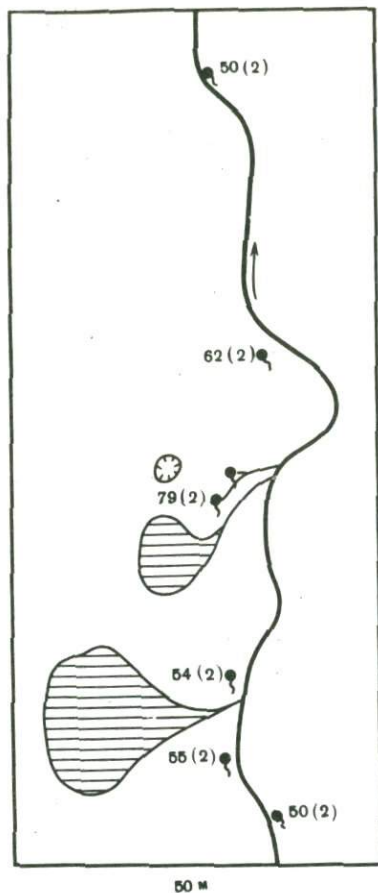


Рис. 20. Схема расположения Верхнедокторских источников (цифры обозначают температуру и pH)

В 10 м к северу от берега этого озера находится глубокая (до 5 м) воронка сечением в поперечнике 3х3 м, на дне которой имеется слой воды около 0,2-1,0 м, с температурой 84-86°C. Вода поступает в нее с юго-западной стороны и фильтруется из нее под землей на протяжении 20 м, выходя на поверхность в подножии левого борта ручья Докторского. На участке между верхним и нижним озерами в обрыве левого склона высотой 3-4 м, на протяжении около 15 м наблюдается пластовый выход гидротерм по крупным (1-2 см) мелким (0,1-0,5 мм) волосяным трещинам и порам из псефитовых туфов. Повсеместно трещины заполнены шоколадного цвета ярозитом. В местах стока отлагается ярозит натечной формы желтовато-зеленоватого цвета. Температура воды не превышает 40-44°C, суммарный сток порядка 1,5 л/сек.

Отдельные термальные источники наблюдаются непосредственно в русле ручья, выше и ниже озер, общим протяжением около 300 м. Дебит источников достигает 1-2 л/сек, температура не превышает 46-51°C.

Суммарный подземный сток термальных вод на этом участке составляет 16 л/сек. По характеру выхода, химическому составу и другим показателям гидротермы этой группы весьма близки к группе нижнеменделеевских гидротерм (особенно верхней подгруппе) и отличаются от них несколько повышенным содержанием хлоридов.

В верховьях ручья Докторского, выше бессточного озера, имеется ложбина (примерно длиной 100-150 м, шириной около 50 м), отделенная от ручья Докторского невысоким хребтом. В период выпадения сильных дождей здесь образуется озеро (45х20 м) глубиной 2-3 м, вода из которого фильтруется в направлении горячего бессточного озера.

Выше этой ложбины в шурфе на глубине от 1,5 до 3,0 м вскрываются аргиллизированные красные псефитовые туфы, превращенные в глину. Появление этой ложбины не случайно. По своей форме она

весьма схожа с бессточным горячим озером, а наличие в ее склонах гидротермально измененных пород указывает на то, что она сформирована циркулировавшими здесь ранее термальными водами. Таким образом, в верховьях ручья Докторского наблюдается мощный пластовый (?) выход гидротерм из псефитовых туфов на протяжении около 500 м, а также разбавление термальных вод холодными грунтовыми водами.

Для данной группы гидротерм характерно интенсивное отложение ярозитов на путях стока, причем наиболее мощные слои ярозитов до 1-2 м наблюдаются в местах выхода гидротерм с температурой 40-50°C.

Ниже Верхнедокторской группы гидротерм по ручью Докторскому на протяжении 200 м прослеживаются желто-бурые псефитовые туфы, совершенно не затронутые гидротермальными процессами. Дальше они сменяются слабогидротермально измененными сульфидизированными и каолинизированными псефитовыми туфами, а затем плотными туфобрекчиями, прослеживающимися почти непрерывно до Нижнедокторской группы гидротерм.

На участке между этими двумя группами гидротерм в подножии правого борта ручья (и отчасти в русле) наблюдаются отдельные малodeбитные термальные источники с температурой 18-25°C. Вода слабокислая, кремнистая с минерализацией 0,3 г/л. На отдельных участках здесь наблюдается отложение ярозита, хотя выходы гидротерм отсутствуют. Это говорит о наличии их здесь в недалеком прошлом.

НИЖНЕДОКТОРСКАЯ ГРУППА ГИДРОТЕРМ

Нижнедокторская группа термальных источников расположена в нижнем течении ручья Докторского в 1 км к северо-западу от пос. Горячий Пляж на абс. отм. 40 м.

Термальные источники образуют почти сплошной очаг разгрузки на протяжении 200 м по подножию правого борта и в самом русле (рис. 21). Место разгрузки термальных вод приурочено к участку

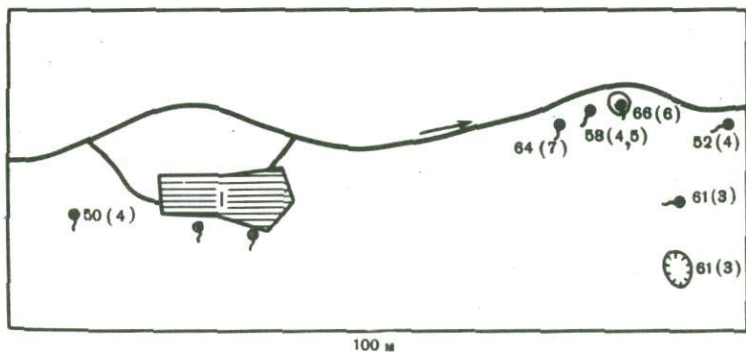


Рис. 21. Схема Нижнедокторских источников
I - купальный бассейн.

Цифры обозначают температуру и pH

Таблица 53

Химический состав вод Докторских источников

Компоненты	Источник 1 или Главный						Источник 2	
	Автор обследования Б.В.Стырикович (1951 г.); аналитики Муликовская, Долматов; T(°C)=54; pH=24,4			Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); аналитик С.С. Крапивина; T(°C)=55,6; pH = 2,4			Автор нов С.С. Кра pH=2,4	
	мг/л	мг-экв	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	
Na ⁺	439,0	19,13	30	317,17	13,79	23,94	388,0	
K ⁺	50,7	1,30	2,7	46,3	1,18	1,9	43,6	
NH ₄ ⁺	1,0	0,05	0,2	0,1	-	-	Не обн.	
Ca ⁺⁺	147,8	7,35	11,6	164,0	8,20	13,26	144,0	
Mg ⁺⁺	86,7	7,13	11,3	78,8	6,41	10,28	66,6	
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	56,0	2,0	3,21	22,4	
Fe ⁺⁺⁺	133,0	7,38	11,7	100,8	8,40	13,43	134,4	
Al ⁺⁺⁺	157,0	17,51	27,0	136,9	17,11	27,73	108,1	
Mn ⁺⁺	12,8	0,47	0,8	0,2	-	-	0,9	
Ti ⁺⁺⁺⁺	-	-	-	0,3	0,02	0,03	0,7	
Cu ⁺⁺	Не обн.	-	-	0,04	-	-	0,02	
H ⁺	3,0	3,00	4,7	4,0	3,99	6,43	4,0	
Σ катионов	1031,0	68,32	100	907,6	61,16	100	915,5	
Cl ⁻	1501	42,34	67	1439,1	40,58	65,58	1333,8	
I ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	
Br ⁻	3,0	0,04	0,05	0,7	-	-	0,6	
F ⁻	-	-	-	0,8	0,04	0,06	0,8	
SO ₄ ⁻	944	19,67	31	931,2	19,4	31,0	830,4	
HSO ₄ ⁻	-	-	-	110,6	1,14	3,36	131,9	
NO ₃ ⁻	76,0	1,22	1,9	Не обн.	-	-	Не обн.	
NO ₂ ⁻	Не обн.	-	-	То же	-	-	То же	
HCO ₃ ⁻	То же	-	-	-	-	-	-	
HA ₅ O ₄ ⁻	8,5	-	-	0,8	-	-	1,1	
PO ₄ ⁻	-	-	-	0,1	-	-	0,3	
Σ анионов	2527,5	63,32	100	2483,3	61,16	100	2298,9	
HVO ₂	12,0			123,9			113,2	
H ₂ SiO ₃	300			426			381,3	
Минерализация	3871			3939			3709	
Сухой остаток	4226			-			-	

или Нижний					Источник 5 или Речной верхний источник		
обследования В.В.Ива- (1953 г.); аналитик пивина; T(°C)=60,3;		Автор обследования В.В.Иванов (1954 г.); аналитик С.С.Крап- вина; T(°C)=58,5; pH=2,48			Автор обследования В.В.Ива- нов (1954 г.); аналитик Н.С.Суезина; T(°C)=52,0; pH=2,8		
МГ-экв.	% экв.	МГ/л	МГ-экв.	% экв.	МГ/л	МГ-экв.	% экв.
16,87	31,81	392,9	18,73	34,25	723,1	31,44	67,37
1,12	1,94	40,9	1,04	1,91			
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
7,20	12,50	154,4	7,76	14,09	102,6	5,13	10,99
5,48	9,51	57,6	4,74	8,66	49,2	4,04	8,66
0,80	1,39	18,2	0,65	1,18	-	-	-
7,20	12,50	144,1	7,74	14,15	123,2	4,40	9,42
13,51	23,35	98,1	10,91	19,96	Не обн.	-	-
0,03	-	0,8	0,02	0,03	-	-	-
0,05	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
3,99	6,90	3,1	3,16	5,77	1,6	1,66	3,50
56,31	100	910,5	54,69	100	999,7	46,67	100
37,61	65,20	1354,0	38,20	69,85	1700,0	30,17	64,64
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	0,4	-	-	-	-	-
0,04	0,05	0,9	0,04	0,07	-	-	-
17,30	30,9	701,7	14,62	26,73	768,0	16,00	34,28
1,36	3,85	177,5	1,83	3,35	48,5	0,5	1,08
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	-	-	То же	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	1,0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Не обн.	-	-
56,31	100	2235,5	54,69	100	2516,5	46,67	100
		98,7			70,0		
		351			-		
		3595,7			3586		
		-			-		

Таблица 54

Содержание метаборной кислоты вод Докторских источников

Место отбора пробы	Содержание HBO_2	Место отбора пробы	Содержание HBO_2
Источник 1 или Главный	38	Источник 6 или Речной грешинный (первый выход)	48
Источник 3 или Верхний боковой с температурой $32^{\circ}C$	48; 34	То же (второй выход)	48
Источник 4 или Речной купальный	34	Ручей Кислый Ключ (Докторский)	48
Источник 5 или Речной верхний	Не обн.	Левая составляющая	48
		Правая составляющая	Не обн.

Таблица 55

Состав газов Докторских гидротерм

Место отбора пробы	Температура, $^{\circ}C$	Газ	CO_2	H_2S	CH_4	C_nH_m	H_2	N_2 + редкие	O_2
Кислый Ключ, Нижний ист. (2). В.В.Иванов (1954 г.)	58,7	Рас-творен-ный	32,13	0,0	0,00	0,0	0,0	67,35	0,0
Кислый Ключ. Речной купальный (4). В.В.Иванов (1953 г.)	60,3	Сво-бодный	8,01	0,0	9,54	0,0	0,0	82,45	0,0

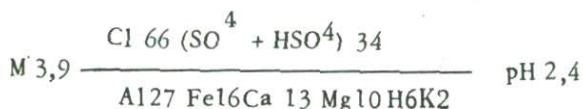
распространения агломератовых туфов нижней толши верхнечетвертичных отложений.

Источники образуют довольно широкий фронт разгрузки от 20–25 до 80 м. Большинство струй **выходит** на уровне 8 м над урезом воды. В естественных углублениях, заполненных термальными водами, образовалось несколько "диких" ванн, многие из которых в настоящее время оборудованы как бассейны для купания.

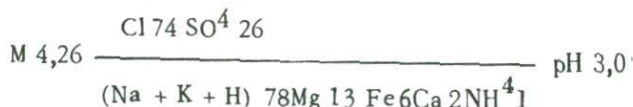
Разгрузка гидротерм происходит по трещинам в виде нисходящих, реже восходящих струй. Суммарный видимый расход составляет примерно 12,0 л/сек. Замер расхода с учетом скрытой разгрузки гидрохимическим способом (по Cl -иону) оказался равным 16,8 л/сек (Шуляков, 1965).

Большинство источников имеет температуру 50 – $60^{\circ}C$. На путях стока образуются мощные кремнистые отложения – ярозиты и гейзериты. Площадь их распространения порядка 3000 м^2 . В местах выхода струй агломератовые туфы разложены до глин охристого цвета или превращены в белые опализированные породы. Вскрытые шурфами в левом борту белые каолиновые глины говорят о сущест-

вовавшей здесь ранее циркуляции термальных вод. Химический состав воды Нижнедокторской группы гидротерм характеризуется следующими формулами солевого состава:



(В.В. Иванов, 1953, ист. Главный II).



Содержание H_2SiO_3 достигает 460 мг/л, HBO_2 - 43-124 мг/л. Все другие источники данной группы имеют состав воды, почти тождественный вышеприведенному, и отличаются в основном только содержанием наименее устойчивых компонентов.

Несколько слов следует сказать о минеральных отложениях источников. Как уже указывалось выше, эти отложения занимают площадь в 3 000 м² и имеют мощность не менее 5 м.

По составу газов и в какой-то мере по химическому составу докторские источники напоминают воды Нижней подгруппы источников Кислой речки. В газовом анализе важно отметить повышенное содержание метана.

Источники Нижнедокторские относятся к сильноокислым, среднеминерализованным, азотным, сульфатно-хлоридным, алюминиево-натриевым. Из биологически активных компонентов необходимо отметить повышенное содержание кремнекислоты, мышьяка. Минеральные отложения источников в основном мышьяково-кремнисто-железистые с повышенным содержанием Mg, P, Pb и особенно Ba.

По В.В. Иванову (1956, 1958), эти воды относятся к сульфатно-хлоридным, фумарольным термам глубинного формирования. Нижнедокторские источники в настоящее время используются в лечебных целях. По свидетельству врача П.Н. Соломатина, применение вод в виде ванн особенно эффективно при лечении кожных заболеваний.

ИСТОЧНИКИ ГОРЯЧИЙ ПЛЯЖ

Источники и выходы пара Горячий Пляж - типичные представители гидротерм второго типа. Они обследованы Е.К. Мархиным (1956), В.В. Ивановым (1958), С.С. Сидоровым (1962) и др. С 1964 г. зона Горячего Пляжа, представляющего собой месторождение природного пара, разведывается бурением. Подземное тепло месторождения предполагается использовать для теплофикации близлежащих населенных пунктов и строительства парниково-тепличного комбината.

В основу приведенного ниже описания парогидротерм положены главным образом исследования Е.К. Мархина.

Местоположение, общие сведения

Участок горячих ключей и интенсивных выходов пара, известный под названием Горячий Пляж, расположен на Тихоокеанском побережье о. Кунашир у подножья вулкана Менделеева, в 6 км на северо-восток от его вершины и в 7 км на юго-запад от районного центра г. Южно-Курильска. Полоса термальных проявлений, достигающая 200–250 м ширины, протягивается на расстоянии порядка одного километра вдоль берега. При приближении в Горячему Пляжу уже издали видно, как он парит. Это парение есть результат выделения глубинных паров, с одной стороны, и испарения влаги с поверхности прогретого песка – с другой. Большинство горячих ключей и выходов пара расположена на юго-восточной окраине поселка, который так и называется Горячий Пляж. Поселок почти целиком расположен на первой 3–6 м морской террасе, полого наклонной к морю. На этой же террасе прямо между строениями располагается ряд интенсивных выходов пара, но большая часть горячих источников и выходов пара расположена непосредственно на пляже. Ряд горячих источников и выходов пара находится в зоне прибоя и заливается во время прилива, но наиболее интенсивные выходы пара расположены в 100–150 м от берега. По юго-восточной окраине поселка располагаются и три каптированных ключа – два бетонных колодца и один деревянный. Вода в них на несколько сантиметров выше уровня земной поверхности.

Располагаясь на поверхности первой морской террасы, поселок Горячий Пляж с трех сторон – севера, запада и юга – окаймлен уступом второй морской террасы высотой 20–30 м. Из-под этого уступа в ряде мест просачиваются грунтовые воды, образуя небольшой заболоченный участок. Здесь находится участок с питьевой грунтовой водой.

Вторая морская терраса упирается узким перешейком с тыловой стороны в мыс Горячий, образованный риолитовой экструзией и имеющий отметку 49 м. Этот перешеек и м. Горячий делят всю полосу термальных проявлений на две неравных части: северо-восточную, где расположено их подавляющее большинство, и юго-западную. С юго-западной стороны мыса находятся три выхода горячей воды: один непосредственно у контакта с экструзией и два на значительном расстоянии от нее. Температура воды в горячих источниках достигает 99°. Температура пара 100°C.

Геология участка месторождения

Участок месторождения пара – Горячий Пляж сложен неогеновыми туфопесчаниками и туфоконгломератами, прорванными риолитовой экструзией и псевдодашкой риолитовых туфов. Отложения большей частью перекрыты террасовыми образованиями и морским песком пляжа.

Неогеновые туфопесчаники и туфоконгломераты

Хорошие обнажения их находятся в трех местах. Одно — непосредственно на пляже и здесь туфопесчаники выходят из-под морского песка, два других — в уступе второй морской террасы, все три в северной части участка. Обнажение 1 вскрывает самую нижнюю часть разреза туфогенных третичных образований Горячего Пляжа. Они представлены здесь среднезернистыми туфопесчаниками с толщиной слоев от 1 мм до 1 см. Преобладают серые и желтовато-зеленоватые тона.

Азимут падения их $S3\ 295^\circ$, угол падения 26° .

Выше этих слоев залегают слои, вскрытые в обнажении 2. Здесь, в нижней части выходит туфопесчаник светло-коричневый, реже серый и темно-серый, на выветренных поверхностях окрашенный в темно-малиновые и бурые тона, слоистый. Толщина слоев от 1 до 10 см. Средняя 5 см. Туфопесчаники окрашены, имеют раковистый излом и при ударе молотком дают искры. Туфопесчаники в этом обнажении переслаиваются с орешковыми туфоконгломератами с туфопесчаным и с туфоалевропелитовым цементом бурого и зеленого цвета. Порода эта пористая и на выветренной поверхности имеет иногда вид шлака, а прослои достигают мощности от 10 до 50 см. В обнажении они играют подчиненную роль.

Азимут падения туфопесчаников в этом обнажении $225-260^\circ$, угол падения 20° .

Несколько западнее эти слои имеют обратное падение, приблизительно под таким же углом. Они образуют небольшую синклиналиную складку. Эта складка дает некоторое основание предполагать, что месторождение пара Горячий Пляж расположено на восточном крыле сравнительно пологой синклиналиной структуры недалеко от ее оси. Однако это можно пока только осторожно предполагать, так как указанная синклиналиная складка может быть и локальным осложнением другой структуры. Туфопесчаники в обнажении 2 разбиты многочисленными трещинами. Их главные простирания от 340° до 0 и 40° .

Трещины близкого к меридиональному простирания имеют слабо выраженное падение на восток.

Видимая общая мощность туфопесчаников 15–20 м. Выше лежат грубые туфоконгломераты. В пределах участка месторождения они наилучшим образом вскрыты в обнажении 3. Туфоконгломераты представляют собой сравнительно плотно сцементированные, большей частью угловатые обломки андезито-базальтов самой разнообразной величины от 1–2 см до 1 м в поперечнике. Цемент представлен туфопесчаником. Слоистость в туфоконгломератах почти не выражена, но углового несогласия между ними и подстилающими туфопесчаниками, по-видимому, нет. Видимая мощность туфоконгломератов 15–20 м. Общая видимая мощность третичных туфогенных образований на Горячем Пляже 30–40 м.

Риолитовая экструзия мыса Горячего

Риолитовая экструзия, слагающая м. Горячий, имеет небольшие размеры — в длину 400–250 м и в поперечнике порядка 250 м. Высота ее около 50 м. Однако точные ее формы и размеры не установлены, так как большая часть ее границ скрыта морем. Экструзия разбита вертикальными и горизонтальными трещинами отдельности. В некоторых местах можно наблюдать, что "горизонтальные" трещины полого падают на юго-восток по азимуту 140° , а "вертикальные" имеют слабый наклон на запад (270°). В краевых частях экструзии много небольших ксенолитовых плотных туфогенных песчаников. Эти ксенолиты обычно располагаются строго вдоль линий течения. Плоскости течения в экструзии имеют преимущественное падение на юго-запад по азимуту $180-240^{\circ}$, под крутыми углами в $76-80^{\circ}$ (табл. 56).

Характер расположения линий течения подтверждает предположение об ее вытянутости в юго-восточном направлении и свидетельствует о том, что риолитовая магма была выжата по трещине, имеющей простирание в пределах $190-220^{\circ}$ и очень крутое падение на юго-запад.

В некоторых местах экструзии, как, например, в точке 4, можно наблюдать хорошо выраженные небольшие зеркала скольжения, являющиеся, по-видимому, следами трещин скола. Возникновение трещин скола и, как следствие, зеркал скольжения, говорит о том, что и после затвердевания экструзии в отдельных ее частях возникают значительные напряжения. В точке 4 наблюдается три системы трещин сколов с зеркалами скольжения, имеющих следующие элементы падения: 1 — СЗ $350^{\circ} \angle 45-50^{\circ}$, 2 — ЮВ $130-140^{\circ} \angle 60^{\circ}$, 3 — ЮЗ $200-210^{\circ} \angle 80^{\circ}$.

Там, где к экструзии примыкает узкий перешеек второй морской террасы, риолиты под действием гидротермальных растворов превратились в глины. Переход от неизмененных пород к измененным породам можно наблюдать в обнажении 10. Интенсивное изменение риолитов под действием гидротерм в этом месте является, по нашему мнению, результатом того, что здесь близ западного контакта экструзии проходят основные подводящие гидротермы трещины северо-восточного простирания.

По-видимому, в генетическом родстве с риолитовой экструзией находится туфовая псевдодайка мощностью 25 см. Она пересекает

Таблица 56

Элементы залегания плоскостей течения

Обнажение	Азимут падения плоскостей течения, град.	Угол, град.	Обнажение	Азимут падения плоскостей течения, град.	Угол, град.
4	ЮЗ 220	80	8	ЮЗ 190-195	80-80
5	ЮЗ 240	80	9	Ю 180	70-80
6	ЮЗ 240	70	10	ЮЗ 205-210	80
7	Ю 185-190	45			

верхнетретичные туфопесчаники Горячего Пляжа в районе обнажения 1 по азимуту северо-восток $45-50^{\circ}$ и с углом $80-85^{\circ}$ падает на северо-запад. Дайка прослеживается на расстоянии нескольких десятков метров и скрывается под песком пляжа.

Террасовые отложения

Вторая морская терраса в районе Горячего Пляжа сложена туфогенным, переотложенным морем, материалом, к которому примешиваются и чисто терригенные отложения. Материал, слагающий террасу, очень разнороден по величине частиц — от долей мм до 1 см и более. Отложения рыхлые. Первая, очень ограниченная по площади, морская терраса сложена главным образом среднезернистым полимиктовым песком, супесями и, вероятно, судя по наличию заболоченных участков, суглинками. Она местами почти постепенно переходит в пляж, сложенный тем же полимиктовым среднезернистым песком. Насколько можно судить по нескольким, пробуренным ручным буром, скважинам мощность песка на пляже небольшая, на большей его площади порядка 1,5–2 м.

О паропроводящих трещинах

Для Горячего Пляжа характерно линейное расположение термальных проявлений. Если соединить крайне северную и южную точки термопроявлений прямой линией, то окажется, что наиболее интенсивные паровыделения и большинство горячих источников либо попадают на нее, либо лежат в непосредственной близости к ней. Это наводит на мысль о том, что эта линия фиксирует собой трещинную зону северо-восточного направления. Такой вывод подтверждается и сильным гидротермальным изменением риолитов в месте пересечения их этой линией.

В пользу приуроченности термопроявлений к этой трещинной зоне говорит также линейное расположение изотерм на покрытой песком части пляжа (Мархинин, 1959). По-видимому, помимо основной системы трещин северо-восточного направления, соответствующей общей вытянутости изотерм и всей полосы термальных проявлений, может быть выделена как пароподводящая, также система трещин восточного, юго-восточного направления, соответствующая некоторым поперечным перемычкам между температурными максимумами первого направления. Важным аргументом в пользу существования этих двух систем пароподводящих трещин может быть северо-восточное простирание псевдодайки и юго-восточное простирание плоскостей течения в риолитовой экструзии. По нашему мнению, по крутому падению псевдодайки и плоскостей течения можно с большей долей вероятности судить и о крутом падении пароподводящих трещин. Вероятно, многие горячие источники и интенсивные выходы пара приурочены к пересечениям северо-восточных и юго-восточных трещин.

Данные термометрической съемки. Дебит

Для того чтобы судить о распределении температуры на поверхности песчаного пляжа и о том как велика нагретая парами площадь, было произведено большое число температурных замеров. Замеры температуры производились на глубине 15 см по квадратной сетке через каждые пять метров, причем в случае выявления аномальных температур эта сетка сгущалась. Большинство замеров было сделано в течение второй половины августа и первой половины сентября 1954 г. при температурах воздуха 15–18°. Всего было сделано свыше 1000 замеров только в опорных точках (по сетке через 5 м) и еще не менее ста при сгущении сетки. Термометрической съемкой была покрыта площадь несколько большая 23 000 м². Из тысячи с лишним опорных точек в 40 температура оказалась от 30 до 101°. Суммарная площадь прогретых участков составляет 5000 м². Температура в прогретых участках распределяется очень неравномерно, что зависит в первую очередь от положения точек над пароподводящими трещинами.

Дебит термальных источников и выходов пара на Горячем Пляже приблизительно оценивался В.И. Белоусовым в 1963 г. Он пришел к выводу, что общий вынос тепла в районе Горячего Пляжа равен

Таблица 57

Химический состав гидротерм Горячего Пляжа

Компоненты	Автор обследования Е.К. Маркина (1956); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=67; pH=8,03			Автор обследования Е.К. Маркина (1956); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=99; pH=8,01		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺ + K ⁺	1409,4	58,12	87,08	1605,0	66,99	93,72
Mg ⁺⁺	19,4	1,60	2,40	-	-	-
Ca ⁺⁺	139,7	6,97	10,45	90,0	4,49	6,28
Fe ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺	-	-	-	-	-	-
NH ₄ ⁺	1,0	0,05	0,07	-	-	-
Σ катионов	1569,6	66,74	100,0	1695,0	71,48	100,0
Cl ⁻	2307,5	65,07	97,52	2472,0	69,71	97,48
SO ₄ ⁻⁻	41,9	0,87	1,30	45,2	0,94	1,31
HCO ₃ ⁻	43,2	0,70	1,04	45,1	0,74	1,03
F ⁻	-	-	-	1,0	0,05	0,8
Br ⁻	9,0	0,10	0,14	5,8	0,07	0,10
Σ анионов	2402,0	66,74	100,00	2567,0	71,51	100,00
H ₂ SiO ₃	332,0			295,0		
HVO ₂	50,8			95,4		
H ₃ AsO ₃	Следы			3,4		
Минерализация	4508,6			4655,8		

10000 ккал/сек. Учитывая, что, согласно расчету С.С. Сидорова (1962), теплосодержание воды на глубине не менее 130 ккал/кг, общий дебит термальных вод на Горячем Пляже не менее 77 кг/сек. Видимый вынос 100° пара непосредственно на Горячем Пляже оценивается В.И. Белоусовым как минимум 1,5 кг/сек. Такое количество пара должно обеспечиваться расходом термальных вод на берегу не менее чем 23 кг/сек. Эта цифра вполне сопоставима с расходом естественных термальных источников на Паужетском и Больше-Банном месторождениях Камчатки.

Химический состав гидротерм приведен в табл. 57.

Предположения о генезисе

Как известно, для выяснения генезиса минерализованных вод исключительное значение имеют некоторые ионные отношения. Из них наибольший интерес представляет отношение брома к хлору, как это показал А.Н. Бунеев и подчеркивает А.П. Виноградов. Отношение брома к хлору в океанской воде равно 0,0015. Значения этого отношения, близкие к этой величине или несколько меньшие, свидетельствуют о том, что на воду минеральных источников оказала влияние морская вода или солевой состав морских осадков. Отношение брома к хлору в водах Горячего Пляжа равно 0,0015, значит бром и хлор — производные нормальной океанской воды. Этот вывод находит себе поддержку и в другом характерном ионном отношении, а именно, в отношении ионов натрия к ионам хлора. Для океанической воды оно равно 0,85. Для воды Горячего Пляжа оно равно 0,82, т.е. очень близко.

Другие ионные отношения не являются такими характерными, так как претерпевают, как подчеркивает А.Н. Бунеев (Бунеев, 1956), в литосфере глубокие изменения либо вследствие адсорбции пелитовым веществом (K^{+} , Mg^{++} , Ca^{++}), либо вследствие осаждения (Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{-}), либо благодаря способности легко восстанавливаться или, наоборот, окисляться (SO_4^{-} , NO_3^{-} , I^{-}). Содержание в водах Горячего Пляжа высоких количеств метаборной кислоты, характерное и для ряда заграничных термальных месторождений (например, р-на Лардерелло), объясняется, вероятно, примесью магматических эманаций.

Каким же образом образуется пар и выходит на поверхность в районе Горячего Пляжа? По-видимому, сравнительно на небольшой глубине от поверхности — от одного до нескольких километров — находится остывающая интрузия. Риолитовую экструзию м. Горячего можно рассматривать при этом как дериват кислой глубинной интрузии. Несмотря на продолжительное время остывания, интрузия до сих пор еще, вероятно, сохраняет высокую температуру порядка 500–700°, так как теплопроводность горных пород низка и потеря тепла происходит очень медленно. Однако при медленном остывании в породах создается какой-то определенный градиент падения температуры. Вокруг интрузии, следовательно, образуется поле высо-

ких температур, которое все более расширяется. Этому процессу способствует и выделение летучих из интрузии и поступление их через поры и трещины в окружающие породы. Если в поле высоких температур попадают и водонасыщенные горизонты, вода в них становится перегретой. Там, где такие горизонты с перегретой водой пересекаются трещинной зоной, вода превращается в пар, и пар и вода устремляются по трещинам к поверхности земли. При этом они прогревают всю трещинную зону и отчасти боковые породы.

СТОЛБОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники находятся на западном побережье о. Кунашир, в 4,5 км к северу от пос. Третьяково и в 2,0 км к югу от м. Столбчатый.

Описание этих источников имеется у В.В. Иванова, О.К. Калишевича, упоминаются они и в работе Е.К. Мархинина (1956). Источники располагаются в небольшой долине р. Змеиной в 1 км от побережья Охотского моря. В районе выходов воды развиты вулканогенные породы четвертичного возраста. На побережье, около устья долины, в обрывах морской террасы обнажаются лавы типа андезитов с характерной столбчатой отдельностью. В 100-150 м к северу в обрывах террасы выступают пикообразные скалы, сложенные осветленными, пористыми, конгломератовидными вулканогенными по-

Таблица 58

Химический состав вод Столбовских источников

Компоненты	Автор обследования В.В. Иванов (1953); T(°C)=80; pH=6,65			Компоненты	Автор обследования В.В. Иванов (1953); T(°C)=80; pH=6,65		
	мг/л	мг-экв.	% экв.		мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	688,8	29,95	76,05	Br ⁻	0,6	-	-
K ⁺	55,7	1,43	3,63	F ⁻	-	-	-
NH ₄ ⁺	0,6	-	-	SO ₄ ⁻	391,7	8,16	20,72
Ca ⁺⁺	144,6	7,23	18,36	HSO ₄ ⁻	-	-	-
Mg ⁺⁺	9,3	0,77	1,96	NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	NO ₂ ⁻	То же	-	-
Fe ⁺⁺⁺	То же	-	-	HCO ₃ ⁻	321,2	5,20	13,21
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	NaAsO ₄ ⁻	Не обн.	-	-
Mn ⁺⁺	-	-	-	PO ₄ ⁻	-	-	-
Sr ⁺⁺	-	-	-	Σ анионов	1635,8	39,38	100
Ti ⁺⁺⁺⁺	-	-	-	HBO ₂	24,6	-	-
Ba ⁺⁺	-	-	-	H ₂ SiO ₃	143	-	-
H ⁺	-	-	-	Минерализация	2702	-	-
Σ катионов	899,0	39,38	100	Сухой остаток	2510	-	-
Cl ⁻	922,3	26,02	66,07	CO ₂ своб.	63,9	-	-
I ⁻	-	-	-	H ₂ S	Не обн.	-	-

родами. На участке выхода термальных вод породы превращены в пластично-вязкие глины,

Термальные воды вытекают в основании левого борта долины на расстоянии 20 м. Три выхода вод находятся на высоте 2-2,5 м от ручья. Кроме того, термальная вода выходит в русле самого ручья. Абсолютная отметка выходов 5,0 м. Главный грифон имеет температуру 80°С и дебит 0,3 л/сек. Общий дебит верхних источников около 0,5 л/сек. Общий дебит всей группы, вероятно, не менее 2,0 л/сек. В источниках происходит бурное выделение газов. У верхних источников наблюдаются отложения нитевидной серы. Рядом с ручьем в продолговатом водоеме наблюдаются термофильные водоросли в виде мясистых зеленых и буро-красных покровов.

Химический состав вод источников приведен в табл. 58. Газ гидротерм углекисло-азотный, интересно отметить высокое содержание метана (до 12%).

Источники относятся к слабокислым, среднеминерализованным, углекисло-азотным, сульфатно-хлоридным натриевым термам. Из биологически активных компонентов отмечается резко повышенное содержание кремниесилы. Кроме этого в воде источников обнаружены бор и бром.

В.В. Иванов относит эти источники к промежуточному типу фумарольных терм, для которых характерно небольшое поступление в подземные воды на глубине вулканических газов, сравнительно мало изменяющих первоначальный химический состав вод.

ТРЕТЬЯКОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники находятся на западном берегу о.Кунашир, недалеко от пос. Третьяково.

Описание этих источников в 1951 г. произведено геологом В.М. Чапышевым, а в 1953 г. - В.В. Ивановым. Кроме того, различные сведения об источниках имеются в работах Г.В. Корсунской (1956, 1958), В.И. Влодавца (1949), Е.К. Мархина (1956) и О.К. Калишевича (1959 г.). Данные В.М. Чапышева и В.В. Иванова существенно использованы в настоящем описании.

Известны две группы Третьяковских источников (Северная и Южная), расположенные в двух параллельных небольших долинах рек, текущих в Охотское море. Район источников сложен эффузивно-туфогенными породами четвертичного возраста, которые подстилаются неогеновыми туфогенными песчаниками и конгломератами. Северная группа источников находится в 2,0-2,2 км от побережья в долине, протягивающейся в восточном направлении от северной окраины пос. Третьяково. Термальное поле прослеживается у южного борта долины, на абсолютной отметке 12 м. Вода вытекает из аллювиальных отложений, слагающих первую террасу.

Главные выходы воды находятся в восточной части термального поля. Здесь имеются три слабогазирующих грифона с общим дебитом 0,5 л/сек. Максимальная температура воды 87,5°С, а по

Таблица 59

Химический состав воды Третьяковских источников

Компоненты	Северная группа					
	Автор обследования В.М. Чапышев (1951 г.); аналитик М.Г. Чапышева; Т(°С)=50; рН=6,3			Восточный источник. Автор обследования В.В. Иванов (1963 г.); Т(°С)=87,5; рН=6,45		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	0,4	0,02	0,31	955,3	41,58	85,58
K ⁺				150,1	3,84	7,92
NH ₄ ⁺	3,0	-	-	2,0	-	-
Ca ⁺⁺	87,0	4,36	68,99	46,2	2,31	4,76
Mg ⁺⁺	23,0	1,04	30,7	9,3	0,77	1,59
Fe ⁺⁺	2,1	-	-	Не обн.	-	-
Fe ⁺⁺⁺	0,3	-	-	То же	-	-
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	-	-	-
Mn ⁺⁺	-	-	-	-	-	-
Σ катионов	115,8	6,32	100	1162,8	48,50	100
Cl ⁻	134	3,8	60,12	1626,0	45,86	94,56
I ⁻	-	-	-	-	-	-
Br ⁻	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻⁻	20	0,42	6,64	50,0	1,04	2,14
NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
NO ₂ ⁻	То же	-	-	То же	-	-
CO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	130	2,10	33,24	97,8	1,6	3,30
HAsO ₄ ⁻⁻⁻	-	-	-	Не обн.	-	-
PO ₄ ⁻⁻⁻	-	-	-	-	-	-
Σ анионов	284	6,32	100	1773,6	48,50	100
HBO ₂ [*]	-	-	-	14,4	-	-
	-	-	-	300,0	-	-
Минерализация	400			3181		
Сухой остаток				3115		
CO ₂ своб.	22			28		
H ₂ S	-			Не обн.		

* По данным О.К. Каллишевича, в воде источников южной группы содержится 3 мг/л HBO₂, а в воде Северной - 8 мг/л.

Северная группа

Автор обследования В.М.Чапьев (1961 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C)=70; pH=10			Главный источник. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); T(°C)=64,2; pH=6,89		
мг /л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
821,0	35,67	87,48	826,6	33,94	91,04
95,0	2,43	5,96			
1,0	0,01	0,08	Не обн.	-	-
52,0	2,59	6,16	55,4	2,77	7,01
1,0	0,08	0,17	9,3	0,77	1,95
0,1	-	-	Не обн.	-	-
0,2	0,01	0,08	То же	-	-
0,3	0,03	0,13	-	-	-
0,01	-	-	-	-	-
970,8	40,82	100	891,3	39,48	100
1329	37,48	92,7	110,0	36,94	93,57
Не обн.	-	-	-	-	-
5,2	0,07	0,2	-	-	-
39	0,81	2,0	35,0	0,77	1,87
-	-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	То же	-	-
-	-	-	"	-	-
128	2,1	5,3	109,6	1,80	4,56
-	-	-	-	-	-
Не обн.	-	-	-	-	-
1501,2	40,46	100	1454,8	39,48	100
0,42			9,9		
22,8			304,0		
2490			2590		
2645			-		
-			14		
-			Не обн.		

Таблица 60

Анализ состава газов Третьяковских источников

Место отбора пробы	Температура воды, °С	Газ	СО	СО ₂	Н ₂ S	СН ₄	С _n H _m	Н ₂	N ₂ ⁺ редкие	O ₂
Третьяковские, южная группа, В.В. Иванов (1955)	80	Растворенный	Не обн.	27,15	Сл.	2,99	Не обн.	Не обн.	69,86	Не обн.

В.М. Чапышеву – 70°C. Выходы каптированы деревянным срубом. В этом месте терраса заметно прогрета.

В западной части поля есть еще два выхода термальных вод. Источники каптированы деревянными срубами, один из них имеет вид ванны глубиной 0,5 м. Поверхностного стока из срубов нет. На поверхности плавает жирная пленка. Температура воды в ванне 45°C. В другом источнике температура воды 64,2°C.

Южная группа источников расположена в 0,7–0,8 км от берега моря, в долине реки. Выходы воды размещаются на ровной площадке, сложенной аллювием у северного борта долины. Абсолютная отметка выходов 10 м.

В.М. Чапышев описывает пять грифонов, соединенных между собой деревянными лотками. Из грифонов вода поступает в небольшую (2,0 × 1,5 м) ванну, над которой сделан навес. Высота ванны 0,6 м. В.В. Иванов, бывавший на этих источниках через два года после В.М. Чапышева, пишет о трех колодцах квадратного сечения, из которых вода поступает в проточный водоем. Рядом с ним находится деревянная ванна размером 0,8 × 1,5 м и высотой 0,6 м, в которую ведрами наливается горячая и холодная вода.

О.К. Калишевич, посетивший источник в 1958 г., также отмечает три выхода, заросших зелеными термофильными водорослями и слившимися в один ручей.

Температура воды 70–71°C. Общий дебит, по В.М. Чапышеву и О.К. Калишевичу – 0,7 л/сек, по В.В. Иванову – 0,5–1,0 л/сек.

Химический состав вод источников приводится в табл. 59, а анализ состава газов дан в табл. 60 (в объемн. %).

Третьяковские минеральные источники относятся к среднеминерализованным, азотным, хлоридным, натриевым. По кислотности воды близки к нейтральным, иногда щелочным. Необходимо отметить резко повышенное содержание в воде кремнекислоты. Кроме этого в воде этих источников определены Mn и Sr. Интересно отметить наличие метана (3%).

АЛЕХИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники находятся на западном побережье о. Кунашир в поселке Алехино (рис. 1), в 5 км от кальдеры вулкана Головинина.

Описание этих источников произведено в 1951 г. Б.В. Стъриковичем, в 1953–1954 гг. В.В. Ивановым и в 1958 г. О.К. Калишевичем. Краткие сведения об этих источниках имеются в работах Г.В. Корсунской (1956, 1958), Е.К. Мархинина (1956) и С.И. Набоко (1959). Данные Б.В. Стъриковича и В.В. Иванова существенно использованы в настоящем описании.

Источники расположены на самом побережье Охотского моря. Они приурочены к толще неогеновых мелкозернистых светло-серых туфопесчаников, переслаивающихся с туфоконгломератами и тонкими прослоями алевритовых сильно окварцованных голубоватых песчаников. Эти породы обнажаются на самом берегу моря, имеют видимую мощность 30 м и падают на юго-восток – 150° под углом 30° .

Всего в пределах пос. Алехино имеется три источника.

Северный источник находится в основании морской террасы высотой 15 м. Абсолютная отметка выхода воды – 7 м. Из углубления ($1,0 \times 0,7 \times 0,5$ м) в деповиальных отложениях выходит вода и по деревянному лотку поступает в небольшой ванный павильон. Температура воды была в 1951 г. – 55°C , в 1953 г. – $54,2^\circ\text{C}$, в 1954 г. – 56°C , а в 1958 г. – 55°C . Дебит источника в 1951 г. – 0,8 л/сек, в 1953 г. – 1,75 л/сек, в 1958 г. – 1,5 л/сек. Вода прозрачная, кисловатая, со слабым запахом сероводорода, без цвета. Вся поверхность лотка покрыта налетами желтой серы.

Центральный источник находится в юго-западной части поселка. Вода выходит на склоне скалы, сложенной туфопесчаниками. Абсолютная отметка выходов не более 10–15 м. Вода вытекает из двух рядов близкорасположенных трещин шириной 0,15 м и длиной до 0,4 м и далее через лотки поступает в ванные помещения. Температура воды в 1951 и 1958 гг. была $53,2^\circ\text{C}$, а в 1953 г. – 55°C , в 1954 г. – $56,4^\circ\text{C}$. Дебит воды из одной трещины в 1951 г. равнялся 2 л/сек, из другой – 1,4 л/сек. У основания этой же скалы имеется еще целый ряд мелких выходов воды с температурой 53 – $53,5^\circ\text{C}$. Общий дебит рассматриваемой группы в 1951 г. был равен 14,4 л/сек, в 1953 г. – 9–10 л/сек, а в 1958 г. – 14 л/сек.

Береговой источник обнаружил О.К. Калишевич в центральной части поселка на морском пляже. Пляж около выхода нагрет. Температура воды 48°C . Дебит источника незначительный.

Кроме того В.В. Иванов отмечает, что на расстоянии 100 м от Центрального источника на территории самого поселка в береговых песчаных отложениях в прошлом имелся крупный выход термальной воды. В настоящее время он полностью засыпан.

Химический состав вод Алехинских источников приведен в табл. 61. Анализы вод, взятые из разных источников и в различное время, сходны между собой. Анализ состава газа указан в табл. 62.

Таблица 61

Химический состав вод Алёхинских источников

Компоненты	Центральный источник. Автор обследования Б.В. Стырикович, сентябрь (1951 г.) [*] ; аналитики Муликовская, Долматова; Т(°С)=53,2; рН=3,94			Центральный источник. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); Т(°С)=55; рН=5,4		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	105,0	4,60	28,0	119,7	5,03	29,76
K ⁺	сл.			4,8	0,12	0,71
NH ₄ ⁺	4,02	0,02	0,1	0,3	-	-
Ca ⁺⁺	207,0	10,33	61,5	212,0	10,60	62,72
Mg ⁺⁺	13,9	1,14	6,8	13,9	1,14	6,65
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
Fe ⁺⁺⁺	0,8	0,03	0,1	То же	-	-
Al ⁺⁺⁺	4,5	0,50	3,0	"	-	-
Mn ⁺⁺	-	-	-	-	-	-
H ⁺	1,0	0,10	0,5	0,01	0,01	0,06
Σ катионов	336,2	16,73	100	350,7	16,90	100
Cl ⁻	119,7	3,37	20,5	140,4	3,97	23,49
I ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
Br ⁻	-	-	-	То же	-	-
F ⁻	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻	641,3	13,36	79,5	620,0	12,92	76,45
HSO ₄ ⁻	-	-	-	0,5	0,01	0,06
NO ₂ ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
NO ₃ ⁻	То же	-	-	То же	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	"	-	-
HAsO ₄ ⁻	-	-	-	0,1	-	-
PO ₄ ⁻	Не обн.	-	-	-	-	-
Σ анионов	761,0	16,73	100	761,0	16,90	100
HBO ₂ ^{**}	2,0	-	-	9,5	-	-
H ₂ SiO ₃	47	-	-	64	-	-
Минерализация	1146,4	-	-	175	-	-
Сухой остаток	1218	-	-	-	-	-
CO ₂ своб.	-	-	-	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	7,1	-	-

^{*} Ионы В₄O₇^{''} и SiO₃^{''} пересчитаны нами в HBO₂ и H₂SiO₃.

^{**} По данным О.К. Калишевича, содержание HBO₂ в воде Центрального источника 2 мг/л, Северного - 3 мг/л, Берегового - 2 мг/л.

Северный источник. Автор обследования Б.В. Стырикович, сентябрь (1951 г.)* аналитики Соколова, Голоховская; T(°C)=55; pH=7,0			Северный источник. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); T(°C)= =54,2; pH=6,05		
мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
231	10,03	48,15	178,0	7,74	41,10
16,0	0,41	1,96	12,31	0,31	1,65
0,1	0,01	0,05	1,0	-	-
198,0	9,88	47,44	191,0	9,55	50,72
4,0	0,33	1,59	15,0	1,23	6,53
0,05	-	-	Не обн.	-	-
Не обн.	-	-	То же	-	-
0,8	0,09	0,43	-	-	-
0,12	0,08	0,38	-	-	-
-	-	-	-	-	-
450,12	20,83	100	379,3	18,83	100
246,0	6,94	33,8	193,6	5,46	29,10
Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
2,0	0,02	0,10	То же	-	-
-	-	-	-	-	-
618,0	12,87	63,0	584,3	12,17	64,63
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	То же	-	-
46	0,75	3,10	-	-	-
-	-	-	73,2	1,20	6,37
Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
912	20,58	100	851,1	18,83	100
1,04	-	-	9,9	-	-
6,1	-	-	66	-	-
1369	-	-	1324	-	-
1276	-	-	-	-	-
-	-	-	28,0	-	-
-	-	-	2,5	-	-

Таблица 62

Анализ состава газа Алехинских источников

Место отбора пробы, автор	Газ	CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	C _n H _m	H ₂	N ₂ + редкие	O ₂
Центральный источник, В.В. Иванов (1954 г.)	Растворенный	0,0	76,9	-	1,5	0,0	0,0	21,60	0,0

Воды источников среднеминерализованные, метаново-углекислые, хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые. По кислотности воды - от сильнокислых до нейтральных. Они содержат большое количество сероводорода и кремнекислоты. В воде также определены бор, бром, мышьяк и марганец.

В.В. Иванов (1956) относит Алехинские источники к промежуточному типу fumarольных терм, определяющемуся "меньшим поступлением в подземные воды на глубине вулканических газов, сравнительно мало изменяющих химический состав вод".

ЮЖНО-АЛЕХИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Источники находятся на западном побережье острова Кунашир недалеко от поселка Алехино. Здесь имеется два источника - Северный и Южный.

Описание источников произведено в 1951 г. Б.В. Стыриковичем, а в 1954 г. В.В. Ивановым и в 1958 г. О.К. Калишевичем. Упоминание об этих источниках имеется также в работах Г.В. Корсунской (1958) и С.И. Набоко (1959).

Северный источник¹ расположен на берегу моря, в 1 км к юго-западу от поселка Алехино. У подножья морского обрыва, сложенного туфогенными породами неогена, на протяжении 10 м Б.В. Стырикович насчитывает 12 мелких грифонов. В.В. Иванов говорит о пяти крупных выходах вод. Абсолютная отметка выходов источников 2-4 м. Вода кисловатая на вкус. Температура воды в наиболее крупных выходах в 1951 г. была равна 45, 53 и 55°C. Суммарный дебит источников, по О.К. Калишевичу - 10 л/сек. У места выхода воды отлагаются незначительные скопления серы и налеты солей, в частности сульфурита.

Южный источник² расположен на берегу моря в 3 км к юго-западу от поселка Алехино (в 2 км от Северного источника).

¹ Южный, по В.В. Иванову и О.К. Калишевичу.

² Северный, по В.В. Иванову, и Алехинский Горячий Пляж, по О.К. Калишевичу.

Таблица 63

Химический состав Южно-Алехинских источников

Компоненты	Северный источник, автор обследования Б.В. Стырикович (сентябрь 1951 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C)=55; pH=4,25			Северный источник. Автор обследования В.В. Иванов (1954 г.); T(°C)= =64,5; pH=3,38			Южный источник - автор обследования Б.В. Стырикович (сентябрь 1951 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C)=65; pH=8,0		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	348,0	15,13	54,64	157,0	6,84	50,77	776,0	33,72	82,91
K ⁺	11,0	0,28	1,01	11,7	0,29	2,13	36,0	0,92	2,27
NH ₄ ⁺	0,1	0,01	0,03	1,4	0,07	0,51	-	-	-
Ca ⁺⁺	120,0	5,99	21,64	100,4	5,03	36,85	71,0	3,54	8,70
Mg ⁺⁺	15,0	1,23	4,44	11,3	0,93	6,86	12,0	0,99	2,44
Fe ⁺⁺	1,8	0,40	1,45	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
Fe ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	То же	-	-	0,6	0,03	0,07
Al ⁺⁺⁺	15,0	1,67	6,03	-	-	-	13,2	1,47	3,61
Mn ⁺⁺	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-
H ⁺	2,48	2,48	10,76	0,4	0,39	2,88	Не обн.	-	-
Σ катионов	512,6	27,69	100	282,2	13,52	100	908,8	40,67	100
Cl ⁻	563	15,88	61,25	206,5	5,82	43,05	1210	34,12	92,70
SO ₄ ⁻⁻	481	10,01	38,75	371,4	7,62	56,36	37,0	0,77	2,10
HCO ₃ ⁻⁻	Не обн.	-	-	-	-	-	116	1,90	5,20
HAsO ₄ ⁻⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	3,0	-	-	0,2	-	-	Не обн.	-	-
Σ анионов	1047	25,89	100	578,1	13,44	100	1363	36,79	100
HBO ₂	-	-	-	18,1	-	-	9,1	-	-
H ₂ SiO ₃	65	-	-	75,4	-	-	133	-	-
Минерализация	1625	-	-	949	-	-	2414	-	-
Сухой остаток	1487	-	-	10,2	-	-	2308	-	-

Вода вытекает из делювиальной осыпи (глыбы андезито-базальта). Всего отмечается четыре грифона, расположенных близко один к другому. Вкус воды горьковато-кислый, запаха нет. Дебит источников незначительный. Температура воды во всех грифонах 65°C .

На побережье между этими двумя источниками встречаются участки выходов фумарольных газов. Температура газа $42-75^{\circ}\text{C}$. Породы на этих участках сильно разрушены и превращены в глинистую массу, различных цветов и оттенков, обладающую красящими свойствами.

О.К. Калишевич отмечает здесь четыре параллельные системы трещин, по которым идет интенсивное выделение пара: первая — на высоте 10 м, приурочена к коренным породам, слагающим первую морскую террасу; вторая — по шокколю террасы; третья — в средней части пляжа, заваленного глыбами эффузивов и четвертая — в зоне отлива. Ширина пляжа с осушкой достигает 20 м. Температура грунта до 60°C , в местах выхода пара — до 100°C , на протяжении 1 км встречено много кипящих котлов и горячих ручьев. Дебит источников незначительный.

Химический состав Южно-Алехинских источников приведен в табл. 63. Воды Северного и Южного источников сильно различаются один от другого по своему химическому составу.

Воды Северного источника относятся к сильнокислым, слабоминерализованным, сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым, в то время как воды Южного источника слабощелочные и слабоминерализованные, хлоридные натриевые. Из биологически активных компонентов в них отмечается повышенное содержание кремнекислоты и фосфора. Кроме этого, в воде определены стронций и метаборная кислота.

ГИДРОСОЛЬФАТАРЫ ВУЛКАНА ГОЛОВНИНА

Гидросольфатары кальдеры Головина

Сольфатарная и гидросольфатарная деятельность в кальдере Головина проявляется в трех основных формах: в форме газовых струй, в деятельности грязевых вулканов и в виде горячих ключей. Температура сольфатар нигде не превышает 100° . Разнообразие форм проявлений зависит в основном от условий выхода вулканических газов на поверхность земли.

Центральное восточное сольфатарное поле (район оз. Кипящего)

Центральная восточная группа источников находится у подножия южного склона Центрального восточного купола.

По-видимому, силами взрыва вулканических газов в южный склон купола и прилегающую к нему территорию вписан крупный кратер с

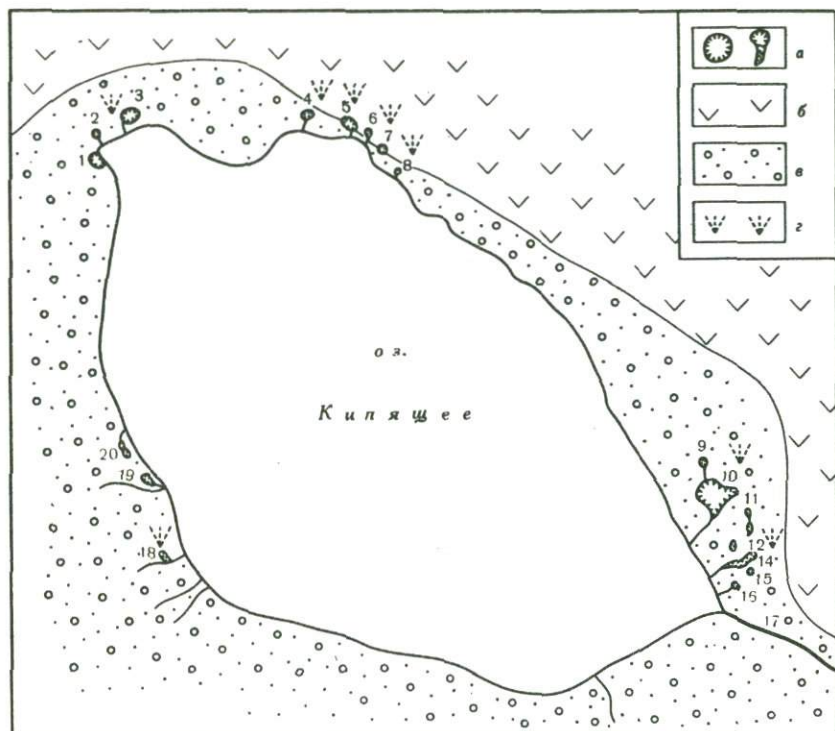


Рис. 22. Обзорная схема источников озера Кипящее. Составил Ю.А. Аникиев, 1973 г.

а - источники, б - породы экструзивного комплекса, в - озерные отложения, г - выходы пара

диаметром около 350 м. Дно кратера занято горячим озером диаметром 236 м и глубиной 22 м (рис. 22).

Сольфатары располагаются не только по берегам озера, но и под водой, в его прибрежной части. Температура воды в озере колеблется от нескольких градусов (там, где в него впадают холодные поверхностные ручьи) до 90°C и более - в местах выхода сольфатар. Температура воды в протоке, вытекающей из озера, равна 36°C . На поверхности озера плавает черная серная пена; берег озера покрыт черным серным песком, а дно - серным илом.

Можно выделить пять (не резко обособленных) групп сольфатар: три - на северной и северо-западной сторонах озера, две, более слабые - на юго-западной. На восточной и юго-восточной сторонах озера действующих фумарол нет. Но, судя по сильно измененным породам на берегу, сольфатары здесь действовали в недавнем прошлом.

Больше всего выходов газов и бурлящих ключей в северо-западном углу впадины. Вода вдоль озера "кипит" вследствие выделения

газов со дна озера. Многие струйки газов пробиваются к поверхности через современный озерный песок.

В средней части северного берега озера расположена вторая большая группа сольфатар. Отдельных выходов газа здесь меньше, чем в первой группе, но некоторые сольфатары имеют внушительные размеры. Так, здесь расположен котел с жидкой бурлящей грязью; ширина котла превышает 1 м, глубина составляет около 1 м. Выходы сольфатарных газов приурочиваются преимущественно к осыпи дацитов купола и делювию, причем везде породы сильно изменены.

Такой же характер имеет третья группа сольфатар, меньшая по размерам и расположенная к востоку от предыдущей. Слабые проявления сольфатарной деятельности, отмеченные на юго-западном берегу озера, связаны с глинистым грунтом и заболоченными участками берега. Вероятно, глинистый грунт и заболоченность в значительной степени явились следствием сольфатарной деятельности. По видимому, сольфатары на южном берегу озера близки к полному угасанию. В некоторых участках на северном берегу отчетливо видна приуроченность выходов газа к тем или иным трещинам и системам трещин. Такие трещины особенно четко фиксируются серными жилами.

Ниже по состоянию на сентябрь 1973 г. приведено краткое описание двадцати горячих источников Центрального сольфатарного поля, сделанное Ю.А. Аникиевым (рис. 43).

Источник 1 (Первый). Источник у самого берега озера. Размеры 2×1 м, темного цвета. В середине бурное выделение пузырей газа. Температура воды в источнике 93°C , $\text{pH} = 5$.

Источник 2 (Малый). Небольшая лужица размером до 50 см, со дна которой имеется несколько выходов горячей воды и газов. Источник имеет сток в оз. Копящее. Температура воды 92°C , $\text{pH} = 5$. Вода прозрачная с серым оттенком.

Источник 3 (Кислый). Неглубокий котел овальной формы с средним радиусом 1,5 м. Цвет воды серый с зеленым оттенком. На поверхности пленки серы. В разных местах наблюдается спокойный выход пузырей газа. Температура воды в котле в разных точках отличается на $1-2^{\circ}\text{C}$. Среднее значение температуры 60°C , $\text{pH} = 1,5$.

Источник 4 (Тройной). Три рядом расположенных неглубоких котла с темной горячей водой, температура 92°C . Наблюдается спокойный выход газов, $\text{pH} = 3$.

Источник 5. Лужа темно-серого цвета с фонтаном газовых пузырей по середине. Размер 2×2 м, температура 95°C , $\text{pH} = 2,0$.

Источник 6. Небольшая лужица темно-серого цвета с выделением газовых пузырей на поверхности. Температура 95°C , $\text{pH} = 3$.

Источник 7 (Котел). Котел диаметром 80 см и глубиной 50 см. На дне "кипит" темная маслянистая грязь. Температура 96°C , pH не замерялся.

Источник 8 (Бурный). Горячий фонтан темно-серой жидкости с газовыми пузырями. Температура 94°C , $\text{pH}=3,5$.

Источник 9 (Светлый). Фонтан прозрачной воды с пузырями газа. Высота фонтана 20–30 см. Температура 95°C , $\text{pH}=5$.

Источник 10 (Большой). Небольшое озерко диаметром 5 м темно-серой воды. По середине озера большой фонтан. Температура 87°C , $\text{pH}=5,0$.

Источник 11 (Спокойный). Маленькая лужица, светло-серого цвета, со дна которой поднимаются маленькие пузыри газа. Температура воды 89°C , $\text{pH}=4$.

Источник 12 (Тихий). Неглубокий котел, светло-серой не прозрачной воды. Редкое выделение пузырей газа. Температура 84°C , $\text{pH}=4,5$.

Источник 13 (Грязевый). Грязевый вулканчик, в котором большими пузырями "кипит" темная грязь. Температура 89°C , pH не замерялся.

Источник 14 (Зеленый). Небольшое углубление размером 2×2 м с прозрачной зеленой водой, температура 76°C , $\text{pH}=8,1$. Источник имеет сток в озеро Кипящее. На дне этого стока отложения белой киселеобразной массы.

Источник 15 (Темный). Небольшое углубление с темной водой и слабым выделением пузырей газа. Температура 61°C , $\text{pH}=5$.

Источник 16 (Салатный). Маленькая лужица светло-зеленой прозрачной воды. Со дна периодически наблюдается выход пузырей газа. Температура 49°C , $\text{pH}=8,6$.

Источник 17. Ручей, вытекающий из озера Кипящее. Ширина ручья = 1,5 м, глубина около 20 см. Дебит 156 л/сек. Температура вытекающей воды в ручье $34,5^{\circ}\text{C}$. $\text{pH}=4$. (Замер 20 августа 1973 г.).

Источник 18 (Кудрявый). Рядом с пресным ручьем в 20 м от южного берега оз. Кипящего. Наблюдается бурное выделение пузырей газа по всей поверхности. Выделяющийся газ удушлив, оставляет горечь во рту.

Источник 19 (Черный). Углубление с черной водой размером $1 \times 1,5$ м. Черный цвет вода приобретает за счет образования черного киселеобразного осадка. Температура = 54°C , $\text{pH}=7,5$.

Источник 20 (Прозрачный). Две лужицы прозрачной воды с серым оттенком. Слабое выделение пузырей газа. На поверхности серая пленка. На дне серый "кисель". Температура = 70°C , $\text{pH}=4,0$.

Следует отметить наблюдаемое сотрясение почвы на берегу озера в районе источника "Первый". Вероятно в глубине породы имеются пустоты, в которых периодически прорываются газ и пар под большим давлением, вызывая таким образом небольшие колебания породы.

В кальдере вулкана Головнина кроме описанного поля имеются еще четыре сольфатарных поля.

Центральное западное сольфатарное поле

Расположено с северной стороны Западного Центрального купола, где его стенка была, по-видимому, нарушена взрывом вулканических газов. Сольфатары находятся главным образом в нижней части крутого склона купола. Обеленные, разложенные породы, указывающие на наличие сольфатарной деятельности в недавнем прошлом, опускаются со склонов купола к берегу большого кальдерного озера. Характерно наличие в нижней пологой части поля многочисленных пологих воронкообразных депрессий шириной до 3–5 м и глубиной 1–1,5 м, обусловленных, вероятно, разложением подстилающих пород.

Вследствие того, что сольфатарное поле занимает крутой склон купола и сравнительно высокое гипсометрическое положение, сольфатарная деятельность здесь проявляется почти исключительно в форме газовых струй, которых насчитываются десятки и, может быть, сотни. Газ выделяется из них спокойно, с давлением в несколько миллиметров ртутного столба.

В нижней части поля, в нескольких десятках метров от кальдерного озера из небольшой трещины вытекает совсем небольшой, но очень горячий ручеек ($T=98,5^{\circ}\text{C}$).

Вода ручья в значительной мере, по-видимому, представляет собой естественный конденсат сольфатарных паров,

Черепаховое сольфатарное поле

Связано с "черепаховой" структурой (Мархинин, 1959). Сольфатарная деятельность его в настоящее время еще довольно интенсивна. Сольфатары и гидросольфатары на месте северо-западной разрушенной половины структуры. При этом само разрушение структуры и начало образования депрессии на месте купола обязаны взаимному действию сольфатар и эрозии. Многие сольфатары располагаются линейно вдоль северо-западной кромки структуры среди рыхлых, разрушенных озерных гравелитов. Ниже и далее к северо-западу небольшие горячие источники и многочисленные выходы сольфатар приурочены к сильно разложенным, обеленным, превращенным в глину породам. Многие струйки газа пробиваются со дна кальдерного озера.

Состав собранного здесь спонтанного газа приведен ниже.

Набоковское сольфатарное поле

Расположено на северо-восточном берегу кальдерного озера. Имеет 70 м в длину и 40 м в ширину. В 35 м от берега озера имеется 4 слабых источника с температурой $38-52^{\circ}\text{C}$ и $\text{pH} = 6$. Заметно слабое выделение пузырей газа. Источники находятся в стадии угасания.

Компоненты	Центральная восточная часть																														
	Горячее озеро у fumarol - авторы обследования А.К. Марков (18 октября 1948 и Г.М. Власов, 1959 г.); T(°C) = 30			Горячее озеро - автор обследования Стырикович Б.В. (сентябрь 1951 г.); T(°C) = 31; pH=3,75			Источник на берегу горячего озера - авторы обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 (Г.М. Власов, 1959 г.); pH = 3,0			Грязевый источник. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); T(°C) = 96; pH = 1,5			Исток ручья из горячего озера. Автор обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 г. (Г.М. Власов, 1959 г.); pH = 3,0			Устье ручья из горячего озера. Автор обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 (Г.М. Власов, 1959 г.); pH = 3,0			Исток ручья из горячего озера. Автор обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 г. (Г.М. Власов, 1959 г.); pH = 3,0			Устье ручья из горячего озера. Автор обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 (Г.М. Власов, 1959 г.); pH = 3,0			Ручей из горячего озера. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); аналитик Е.Ф. Прокофьева; T(°C) = 30; pH = 2,5			Ручей из горячего озера. Автор обследования В.В. Иванов (1954 г.); T(°C) = 26; pH=2,83			
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	
Na ⁺	77,06	3,35	38,7	450,0	19,56	54,33	201,56	8,77	40,8	38,8	1,69	1,99	106,85	4,65	39,2	100,05	4,35	38,6	106,85	4,65	39,2	100,05	4,35	38,6	327,9	14,26	49,61	89,4	3,89	26,63	
K ⁺	7,13	0,183	2,1	23,0	0,59	1,64	7,68	0,196	1,1	Не обн.	-	-	5,19	0,134	1,1	3,93	0,10	0,9	5,19	0,134	1,1	3,93	0,10	0,9	20,6	0,52	1,81	17,0	0,43	2,93	
NH ₄ ⁺	Не обн.	-	-	0,1	0,01	0,03	Не обн.	-	-	То же	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	
Ca ⁺⁺	85,07	4,25	49,0	107,0	5,34	14,83	198,11	9,89	46,0	146,3	7,30	8,62	79,47	3,96	33,5	82,33	4,11	36,4	79,47	3,96	33,5	82,33	4,11	36,4	124,2	6,20	21,56	88,7	4,43	30,32	
Mg ⁺⁺	10,64	0,88	10,2	41,0	3,37	9,36	19,48	2,60	12,1	49,6	4,09	4,83	24,31	3,09	26,2	19,74	2,72	24,1	24,31	3,09	26,2	19,74	2,72	24,1	34,9	2,87	9,99	32,3	2,65	18,14	
Fe ⁺⁺	Есть	-	-	4,0	0,14	0,39	Есть	-	-	Не обн.	-	-	Есть	-	-	Есть	-	-	Есть	-	-	Есть	-	-	11,3	0,60	2,08	30,0	1,07	7,30	
Fe ⁺⁺⁺	То же	-	-	Не обн.	-	-	То же	-	-	160,6	8,59	10,15	То же	-	-	То же	-	-	То же	-	-	То же	-	-	5,0	0,17	0,59	11,0	0,53	3,62	
Al ⁺⁺⁺	-	-	-	26,0	2,89	8,03	-	-	-	262,1	29,15	34,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	0,89	3,09	2,0	0,21	1,44	
Mn ⁺⁺	-	-	-	0,2	0,13	8,36	-	-	-	1,7	0,06	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4	0,08	0,28	0,2	-	-	
Ti ⁺⁺⁺	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ba ⁺⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
H ⁺	-	-	-	4,0	3,97	11,03	-	-	-	33,8	33,8	39,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,	3,16	10,99	1,4	1,4	9,62	
Σ катионов	179,91	8,66	100,0	655	36,3	100	426,83	21,46	100,0	692,9	84,68	100	215,82	11,83	100,0	205,13	11,28	100	215,82	11,83	100,0	205,13	11,28	100	537,4	28,75	100	272,2	14,61	100	
Cl ⁻	27,53	0,766	8,4	880,0	24,82	82,0	46,5	1,31	6,4	147,1	4,15	4,90	215,0	6,06	54,7	193,8	5,36	55,6	215,0	6,06	54,7	193,8	5,36	55,6	844,2	23,81	82,82	377,4	10,64	72,83	
I ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-
Br ⁻	-	-	-	3,0	0,04	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
F ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SO ₄ ⁻	401,62	8,35	91,6	247,0	5,14	17,0	920,83	19,15	93,6	2315,5	48,27	56,97	241,96	5,03	45,3	205,75	4,28	44,4	241,96	5,03	45,3	205,75	4,28	44,4	223,7	4,66	16,21	183,5	3,82	26,15	
HSO ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3132,1	32,29	38,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,1	0,28	0,97	10,6	0,11	0,75
NO ₂ ⁻	Не обн.	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	
NO ₃ ⁻	То же	-	-	-	-	-	То же	-	-	-	-	-	То же	-	-	То же	-	-	То же	-	-	То же	-	-	-	-	-	-	-	-	
HCO ₃ ⁻	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HA ₃ O ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	0,8	-	-
PO ₄ ⁻	-	-	-	5,0	0,16	1,0	-	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	573,1	14,61	100	
Σ анионов	429,15	9,100	100,00	1135	30,12	100	967,33	20,46	100	5595,6	84,68	100	456,97	11,09	100	399,55	9,64	100	456,97	11,09	100	399,55	9,64	100	1095,9	28,75	100	52,3	-	-	
HBO ₂	-	-	-	24,1	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
H ₂ SiO ₃	245,6	-	-	150	-	-	176,8	-	-	384,8	-	-	478,0	-	-	74,4	-	-	478,0	-	-	74,4	-	-	118,3	-	-	1024,5	-	-	
Минерализация	999,46	-	-	1964,0	-	-	1965,36	-	-	6673,3	-	-	188,78	-	-	702,28	-	-	188,78	-	-	702,28	-	-	1751,3	-	-	-	-	-	
Сухой остаток	-	-	-	1847	-	-	2822,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Окисляемость, O ₂ мг/л	7,12	-	-	-	-	-	5,68	-	-	-	-	-	6,56	-	-	2,56	-	-	6,56	-	-	2,56	-	-	-	-	-	-	-	-	
CO ₂ своб.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
H ₂ S	13,33	-	-	16	-	-	76,4	-	-	163,9	-	-	3,44	-	-	14,6	-	-	3,44	-	-	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 64 (окончание)

Компоненты	Центральная западная группа																										
	Горячий источник. Автор обследования Б.В. Стрыкович (IX-1951 г.); аналитики Соколова, Голоховская; T(°C) = 98,5; pH = 3,0			Горячий источник. Автор обследования С.И. Набоко (1963 г.); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C) = 98,5; pH = 1,31			Ручей из горячего источника. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); аналитик Е.Е. Крапивина; T(°C) = 67; pH = 1,47			Ручей из горячего источника. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); аналитик Е.Е. Крапивина; T(°C) = 67; pH = 1,47			Кипящий грифон. Автор обследования В.В. Иванов (1953 г.); аналитик Е.Е. Крапивина; T(°C) = 101,5; pH = 1,47			Источник р.Озерной. Автор обследования К.К. Зеленов, август 1958 г. (1961 г.); аналитик М.А. Канакина; pH 2,6			Подводное фумарольное поле. Автор обследования К.К. Зеленов, август 1958 г. (1961 г.); аналитик М.А. Канакина, pH 2,82			Черепашовая. Автор обследования Е.П. Маркина (1959); аналитик Е.П. Рябичкина, T(°C) = 80, pH = 2,55			Кальдерное озеро. Автор обследования А.К. Марков, 18 октября 1948 г. (Г.М. Владисов, 1959 г.); pH = 3,0		
	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
Na ⁺	1357,0	58,0	56,2	-	-	-	117,0	5,11	6,55	117,0	5,11	6,55	135,0	5,87	8,70	52,50	2,28	25,38	52,00	2,26	32,47	27,1	1,1	9,2	96,49	4,28	37,4
K ⁺	Не обн.	-	-	-	-	-	0,8	0,02	0,03	0,8	0,02	0,03	1,0	0,02	0,06	1,10	0,03	0,33	2,06	0,05	0,71	-	-	-	10,78	0,78	6,8
NH ₄ ⁺	То же	-	-	1,5	0,1	0,4	0,1	-	-	0,1	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	Не обн.	-	-
Ca ⁺⁺	70,0	3,49	3,5	104,5	5,20	8,2	80,0	4,0	5,13	80,0	4,0	5,13	72,0	3,6	5,37	35,0	1,75	19,49	31,25	1,56	22,41	56,4	2,8	23,5	73,75	3,68	32,1
Mg ⁺⁺	29,0	2,38	2,4	30,5	3,01	4,7	41,4	3,40	4,36	41,4	3,40	4,36	31,4	2,6	3,88	14,40	1,18	13,14	15,12	1,24	17,82	12,2	1,0	8,3	19,74	2,72	23,7
Fe ⁺⁺	79,0	2,83	2,8	207,0	7,40	11,7	123,2	4,40	5,64	123,2	4,40	5,64	89,6	3,2	3,56	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	9,3	0,3	2,5	Есть	-	-
Fe ⁺⁺⁺	15,0	0,81	0,8	1,0	-	-	33,6	1,86	2,38	33,6	1,86	2,38	0,2	0,01	0,01	2,716	0,10	1,56	0,26	0,01	0,15	13,3	0,6	5,0	То же	-	-
Al ⁺⁺⁺	223,51	24,85	24,7	117,3	13,0	20,0	227,8	25,31	32,43	227,8	25,31	32,43	188,3	20,92	31,22	7,16	0,79	8,80	0,86	0,01	1,30	30,4	3,3	28,0	-	-	-
Mn ⁺⁺	-	-	-	0,2	-	-	1,0	0,03	0,04	1,0	0,03	0,04	1,2	0,04	0,06	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-
Ti ⁺⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	-	-	-	0,9	0,07	0,09	0,9	0,07	0,09	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba ⁺⁺	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ⁺	10,0	9,92	9,6	35,0	35,0	55,0	33,9	33,9	43,30	33,9	33,9	43,30	33,9	33,9	47,12	2,77	2,77	30,85	1,63	1,63	23,42	2,8	2,8	23,5	-	-	-
Σ- катионов	1783,5	102,28	100,0	497,0	63,0	100,0	662,1	78,14	100,0	662,1	78,14	100,0	554,8	67,19	100,00	115,955	8,94	100	103,99	6,88	100	153	11,9	100,0	200,76	11,46	100,0
Cl ⁻	14,0	0,39	0,4	13,3	0,4	0,5	6,3	0,18	0,23	6,3	0,18	0,23	5,1	0,14	0,20	191,48	5,40	58,69	201,41	5,67	85,28	20,0	0,6	5,0	183,00	5,06	55,8
I ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Br ⁻	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	То же	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F ⁻	-	-	-	-	-	-	1,6	0,08	0,10	1,6	0,08	0,10	1,2	0,06	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻	4461,0	92,88	99,6	1532,1	32,0	50,5	2238,7	46,64	59,62	2238,7	46,64	59,62	1935,3	40,32	59,92	170,88	3,56	38,70	45,12	0,94	14,12	508,8	10,7	90,0	193,23	4,02	44,2
HSO ₄ ⁻	-	-	-	2987,6	31,0	49,0	3030,4	31,24	40,05	3030,4	31,24	40,05	2597,0	26,57	39,8	29,68	0,24	2,61	3,88	0,04	0,60	57,2	0,6	5,0	-	-	-
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HA ₃ O ₄ ⁻	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO ₄ ⁻	1,5	0,05	-	-	-	-	0,8	-	-	0,8	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ- анионов	4479,6	93,31*	100,0	4533,0	63,4	100,0	5277,8	78,14	100,0	5277,8	78,14	100,0	4538,7	-	-	391,64	9,20	100	250,41	6,65	100	586,0	11,9	100,0	376,23	9,08	100,0
HBO ₂	3,6	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ SiO ₃	376	-	-	415	-	-	404,8	-	-	404,8	-	-	5448,2	-	-	48,3	-	-	64,3	-	-	140	-	-	-	72,8	-
Минерализация	6642,7	-	-	5445	-	-	6344,7	-	-	6344,7	-	-	355,2	-	-	555,94	-	-	421,3	-	-	880	-	-	-	859,39	-
Сухой остаток	6748	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444,0	-	-	428,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Окисляемость, мг/л	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,16	-
CO ₂ своб.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	-	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	Не обн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,18	-

Безымянное сольфатарное поле

Расположено на берегу кальдерного озера. Выходы сольфатар сконцентрированы в двух пунктах: непосредственно на берегу озера и в нескольких десятках метров от него на берегу 2-5-метровой терраски. Это сольфатарное поле особенно характерно развитием грязевых котлов, которые имеют в поперечнике 1-1,3, в глубину 0,5-1 м.

Подводное фумарольное поле (по К. К. Зеленову, 1963)¹

Расположено в северо-западной части кальдерного озера на подводном склоне, имеющем крутизну 40-50°. Оно занимает площадь примерно 400 м², с которой поднимаются многочисленные струйки газа. В границах поля озерное дно четко выделяется беловатой окраской пород, что видно прямо с берега. Вода озера в этом месте имеет голубой оттенок и сильно опалесцирует. Подводный склон усеян глыбами андезита. Выходы газа приурочены к трещинам в андезитах или к воронкам, по краям которых находятся крупные камни, а в центре мелкий песок. Из многих воронок выделений газа нет, но песок в центре воронок горячий. Струйки газа имеют умеренную температуру; резкое повышение наблюдается лишь в иле на глубине 20-30 см. У самого дна воронок скапливается тончайшая взвесь белых частичек серы. Видимого изменения горных пород на подводном поле не наблюдается. Лишь в местах интенсивного выхода газов из трещин в андезитах имеется незначительный налет сернистого железа черного цвета и желтые налеты серы.

Химический состав вод минеральных источников вулкана Головинина приводится в табл. 64 (вклейка). Для сравнения здесь же помещен анализ воды кальдерного озера.

Как видно из таблицы, воды различных групп источников вулкана Головинина по своему химическому составу близки между собой.

Анализы конденсатов фумарольных газов приведены в табл. 65. С.И. Набоко (1957) объясняет резко избыточное количество катионов, по сравнению с необходимыми для связи с анионами, тем, что часть металлов находится в растворе конденсата в виде окислов или других соединений в состоянии аэрозоля.

Из сравнения химического состава воды и анализа конденсата фумарольных газов можно предположить, что вода в значительной мере представляет собой природный конденсат газа фумарол.

В табл. 66 приведены анализы свободно выделяющихся и растворенных газов (объемные %).

С.И. Набоко (1958, 1959) указывает, что газовые струи, выходящие со дна горячего озера, содержат среди преобладающих па-

¹ Подводное поле исследовано К.К. Зеленовым.

Таблица 65

Анализы конденсатов fumarольных газов вулкана Головинна

Компоненты	Центральная западная группа			Центральная	
	склон купола на высоте 10 м от уровня озера. Автор обследования Е.К. Мархинин, С.И. Набоко (1955 г.); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=100; pH=2,85				
	мг/л	мг-экв	% экв.	мг/л	
Na ⁺	-	-	-	103,3	
K ⁺	-	-	-		
NH ₄ ⁺	1,3	0,07	1,3	0,4	
Ca ⁺⁺	60,1	3,0	56,8	210,1	
Mg ⁺⁺	9,0	0,94	13,9	53,7	
Fe ⁺⁺	Не обн.	-	-	Не обн.	
Fe ⁺⁺⁺	1,5	0,05	1,0	30,0	
Mn ⁺⁺					-
Ti ⁺⁺⁺	Не обн.	-	-	-	
Ba ⁺⁺	-	-	-	-	
H ⁺	1,4	1,42	27,0	6,1	
Σ катионов	73,3	5,28	100,0	403,6	
Cl ⁻	13,3	0,37	13,0	81,0	
Γ ⁻	-	-	-	-	
Br ⁻	-	-	-	-	
F ⁻	-	-	-	-	
SO ₄ ⁻	126,7	2,64	83,4	92,7	
HSO ₄ ⁻	7,7	0,08	2,6	22,5	
NO ₃ ⁻	Не обн.	-	-	Не обн.	
NO ₂ ⁻	То же	-	-	-	
HCO ₃ ⁻	"	-	-	Не обн.	
HAsO ₄ ⁻	"	-	-	То же	
PO ₄ ⁻	-	-	-	-	
Σ анионов	147,7	3,09	100,0	195,2	
HBO ₂	Не обн.	-	-	22,7	
H ₂ SiO ₃	104,5	-	-	104,5	
CO ₂ свободный	-	-	-	-	
H ₂ S	Не обн.	-	-	66,3	

ров воды и углекислого газа значительное количество хлоридных и сернистых газов. Соотношение между двумя последними приведены ниже (без учета других газов) (табл. 67).

При прохождении вулканических газов через толщу озерной воды сернистые и хлоридные газы растворяются, обогащая воду хлорида-

восточная группа		Черепяховая группа		
на высоте 10 м от уровня горячего озера. Автор обследования Е.К. Мархинин, С.И. Набоко (1955 г.); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=100; pH=2,21		на высоте 6 м от уровня озера. Автор обследования Е.К. Мархинин, С.И. Набоко (1955 г.); аналитик Е.П. Рябичкина; T(°C)=97; pH=3,40		
мг-экв.	% экв.	мг/л	мг-экв.	% экв.
2,64	10,8	-	-	-
0,02	-	1,5	0,08	1,6
10,48	42,8	70,8	3,53	71,3
4,41	18,0	10,9	0,89	18,0
-	-	Не обн.	-	-
0,81	3,3	1,7	0,06	1,2
-	-	-	-	-
-	-	Не обн.	-	-
-	-	-	-	-
6,17	25,1	0,4	0,39	7,0
24,53	100,0	85,3	4,95	100,0
2,26	51,0	13,3	0,37	19,0
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
1,93	43,7	74,8	1,56	80,0
0,23	5,3	1,9	0,02	1,0
-	-	Не обн.	-	-
-	-	То же	-	-
-	-	"	-	-
-	-	"	-	-
-	-	-	-	-
4,42	100,0	90,0	1,95	100,0
		Не обн.		
		104,5		
		-		
		Не обн.		

ми и сульфатами. Аналогичный процесс отображается составом конденсатов газов (табл. 65). Вследствие этого свободно выделяющийся газ озерной воды почти нацело состоит из углекислоты (анализы 4-6). Наличие большого количества сероводорода (до 48%) в составе свободно выделяющихся газов горячих источников (табл. 66)

Таблица 66

Анализ свободно выделяющихся и растворенных газов вулкана Головинна

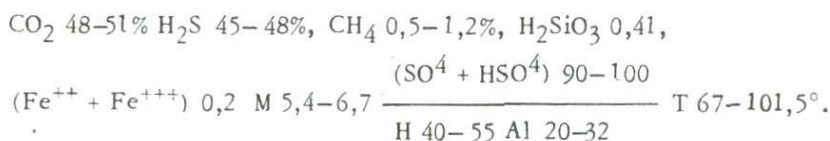
Место отбора пробы, автор	Температура, °C	Газ	CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	C _n H _m	H ₂	N ₂ редкие
Центральная западная группа. Кипящий грифон. В.В. Иванов, 1953 г.	101,5	Свободный	0,0	48,2	48,4	1,22	0,0	-	3,94
Центральная восточная группа. Грязевой источник. В.В. Иванов, 1953 г.	96,0	То же	0,0	51,61	45,0	0,53	0,0	0,0	2,66
Центральная восточная группа. Горячее озеро, северо-западный берег. В.В. Иванов, 1954 г.	40-80	Растворенный	0,0	55,32		-	0,0	0,0	44,68
Центральная восточная группа. Горячее оз. С.И. Набоко, 1955 г. (1958)	-	Свободный	-	93,42	-	0,95	-	0,70	4,33
Центральная восточная группа. Горячее озеро. С.И. Набоко 1955, (1958)	98	То же	-	95,79	-	1,32	-	-	2,90
Черепашовая группа. Берег кальдерного озера. Е.К. Мархинин, С.И.Набоко, 1955 г. (1957).	98	-	0,0	93,84	-	1,74	-	1,20	3,22

указывает, по-видимому, на то, что в этих источниках процесс растворения сернистых газов не успевает дойти до конца.

Воды горячих источников вулкана Головинина и Кипящего озера Центральной восточной группы отличаются по химическому составу.

Источники относятся к горячим, метано-сероводородно-углекислым, сильноокислым ($\text{pH} = 1,3-3,0$), среднеминерализованным, сульфатным алюминиево-водородным термам. В воде источников следует отметить резко повышенное содержание сероводорода (164 мг/л), железа (до 200 мг/л) и кремнекислоты. Кроме того, в ней в большом количестве содержится марганец (до 1,7 мг/л), стронций (до 1,8 мг/л), бром (до 3,1 мг/л), фтор (до 1,6 мг/л) и фосфор (до 5 мг/л).

Формула Курлова:

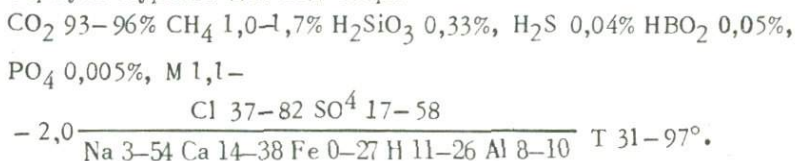


Исключение представляет "кипящий водоем" в Центральной восточной группе с менее кислыми ($\text{pH} = 6,5$), сульфатно-гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми водами. Причем в этих водах содержится 124 мг/л сероводорода.

Вода Кипящего озера также является сильно кислой ($\text{pH} = 2,3-3,7$). В наибольшем удалении от береговых источников (температура 31°C) вода содержит 880 мг/л (82% экв.) хлора и 450 мг/л (54% экв.) натрия). По мере приближения к fumarолам (температура до 97°C) увеличивается содержание сульфатов, кремнекислоты, железа, водорода и резко уменьшается количество хлора и натрия.

Вода протоки из озера имеет сульфатно-хлоридный-кальциево-натриевый состав.

Формула Курлова для вод озера:



Таким образом, озерные воды углекислые, сильноокислые, слабо-минерализованные, сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые. В воде, так же как и в горячих источниках, резко повышено содержание биологических активных компонентов: кремнекислоты, железа, сероводорода, фосфора. При этом интересно отметить, что в водах горячих источников бор отсутствует, а в воде озера содержится до 50 мг/л метаборной кислоты.

Вода подводного fumarольного поля резко отличается от остальной части воды кальдерного озера и от вод минеральных источников (К.К. Зеленов, 1963). Если в воде минеральных источников в катионах преобладают алюминий и железо, а в анионах - сульфат,

Таблица 67

В частях на 100		г/л			в частях на 100		
Cl	S	H ₂ S	SO ₂	SO ₃	H ₂ S	SO ₂	SO ₃
15	85	0,012	0,113	0,133	5,5	43,5	51,0

то в воде подводного фумарольного поля в катионах резко преобладают натрий, кальций и магний, а в анионах — хлор. К.К. Зеленев объясняет это тем, что "при непосредственном выходе в обширный водоем растворяющиеся газы не в состоянии формировать концентрированных кислот типа наземных терм. Поэтому кислотного разложения терм в том виде, как оно наблюдается на суше, под водой не происходит и из слагающих дно эффузивов выносятся лишь сравнительно незначительное количество легко растворимых щелочных металлов. Преобладание хлора можно объяснить высокой растворимостью хлористого водорода, в то время как сероводород окисляется до элементарной серы и лишь частично переходит в сульфат-ион. Тонкие частицы выделяющейся серы, отчетливо видимые под водой, как раз и образуют те светлые пятна вокруг выходов газов, которые создают общий белый фон фумарольного поля. CO₂ не растворяется в воде и составляет основную массу (82,5%) газов, уходящих в атмосферу".

В.В. Иванов (1956, 1958) воды минеральных источников вулкана Головнина относит к фумарольным термам поверхностного формирования, а воды горячего озера — к фумарольным термам глубинного формирования.

Воды источников вулкана Головнина кислые на вкус, прозрачные, пахнут сероводородом.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОХИМИИ КУРИЛЬСКИХ ГИДРОТЕРМ

О ВЫНОСЕ ТЕПЛА МАГМОЙ И ОСНОВНЫХ ПРЕДПОСЫЛКАХ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

Если каждое вулканическое извержение требует колоссальной энергии, нетрудно себе представить, какое громадное количество тепла было вынесено магмой к поверхности земли в течение неогенового и четвертичного циклов вулканической деятельности. Это общее количество вынесенного тепла в первом приближении можно подсчитать, если принять, что в среднем магма к поверхности земли подходила с температурой в 1000° и иметь в виду, что острова почти полностью сложены изверженными горными породами. Тот незначительный процесс неизверженного материала в строении островов, который все же имеется, конечно, с лихвой перекроется изверженным материалом, смытым в результате эрозии. Поэтому общее количество тепла Q , вынесенное за счет вулканической деятельности на островах, с миоцена и до наших дней определится, как минимум, выражением

$$Q = C \cdot \Delta T \cdot v \cdot d,$$

где C — средняя величина теплоемкости горных пород 1 джоуль/грамм;
 $v = 7 \times 10^{18}$ см^3 — объем горных пород, слагающих острова; ΔT — разность между начальной и конечной температурами продуктов извержения, которую мы в первом приближении принимаем равной 1000° .

d — средняя плотность = $2,0$.

$Q = 1$ дж./гр. \times гр. $\times 1000^{\circ} \times 2,0 \times 7 \times 10^{18}$ $\text{см}^3 = 1,4 \times 10^{22}$ дж.
На самом деле эта цифра, несомненно, гораздо больше.

Такой интенсивный вынос тепла магмой, безусловно, создает градиент, величина которого в каждой данной точке островов определяется положением ее относительно периферических вулканических очагов и молодых интрузивных масс.

Расход громадного количества вулканического тепла, приносимого магмой к земной поверхности, зависит от характера извержения. В случае эффузий и особенно эксплозивных извержений расходование этого тепла происходит быстро и оно в основном отдается в атмосфере, в случае экструзий магма, в основном, отдает свое тепло

окружающим породам и циркулирующим водам. Именно за счет тепла интрузий и периферических вулканических очагов создаются в верхних слоях земли поля повышенных температур и чрезвычайно неравномерный геотермический градиент. Образование таких полей — первая основная предпосылка формирования месторождений горячей воды и пара. Вторая основная предпосылка их образования — наличие в полях высоких температур инфильтрационных вод. Обильных горячих источников и выходов пара с ювенильной водой ожидать трудно, особенно, если полагать, что эта вода отделяется от магмы при кристаллизации интрузий. Кристаллизация интрузии, безусловно, происходит очень медленно и отделение воды растягивается на многие годы. Всего же такая интрузия из расчета на 1 км^3 лавы может дать порядка $7,5 \times 10^7$ т, если считать, что в магме содержится три весовых процента воды.

Примесь ювенильных вод, наоборот, должна быть значительной на фумарольных полях вокруг экструзий, так как здесь на сравнительно небольшой глубине от поверхности отделение вулканических газов из магмы происходит быстро, и они, не рассеиваясь, могут подниматься к поверхности земли вдоль контакта с экструзией.

Подсчитаем теперь, какое количество инфильтрационной воды способна нагреть интрузия от 0 до 100° из расчета на 1 км^3 магмы. Общее количество тепла, передаваемое инфильтрационной воде, выразится, как минимум, следующим образом: $2,5 \times 10^{15}$ град. \times $\times 1000^\circ \times 1 \text{ дж.} = 2,5 \times 10^{18}$ дж. $= 6 \times 10^{17}$ кал., где $2,5 \times 10^{15}$ град. — масса 1 км^3 лавы, 1000° — интервал падения температуры 1 дж. — средняя теплоемкость диорита.

Это количество тепла может нагревать от 0 до 100° 6×10^6 т воды.

Количество тепла, которое может выделиться ювенильным паром при понижении его температуры от 1000 до 100° и его конденсации, максимально $= 7,5 \times 10^{13}$ г $\times 0,5$ кал/г \times град. $\times 900^\circ = 3,7 \times 10^{16}$ кал. $7,5 \times 10^{13}$ г $\times 539$ кал/г $= 4 \times 10^{16}$ кал. $\Sigma = 7,7 \times 10^{16}$ кал., где $7,5 \times 10^{13}$ г — масса выделяющейся из магмы воды, 900° — интервал падения температур от 1000 до 100° , $0,5$ кал/г \times град. — средняя теплоемкость водяного пара, 539 кал/г — скрытая теплота парообразования. Этого количества тепла будет достаточно для того, чтобы нагреть на 100° $7,7 \times 10^8$ т воды.

Другими словами интрузивная магма может, по-видимому, нагреть до 100° почти в 100 раз больше воды, чем то количество ювенильной воды, которое она может выделить при кристаллизации (если считать, что эта последняя составляет три процента ее веса).

Инфильтрационная вода играет роль переносчика энергии (а в известной степени и трансформатора тепловой энергии в механическую) от интрузивных масс к поверхности земли и вдоль водоносных горизонтов и трещин. Инфильтрационная вода в силу этого должна оказывать большое воздействие на охлаждение интрузивной магмы.

Кроме разобранных условий (наличия полей повышенных температур и проникающей в них инфильтрационной воды), третьей важной

предпосылкой возникновения месторождения горячей воды или пара будет благоприятная складчатая или дизъюнктивная структура, обуславливающая выход горячей воды и пара на поверхность или возможность их искусственного вывода.

ПРИУРОЧЕННОСТЬ ПАРОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ К РАЗРЫВНЫМ НАРУШЕНИЯМ

Длительно существующие горячие источники и парогазовые выделения генетически приурочены к различным разрывным нарушениям, среди которых можно выделить два основных типа:

1. Собственно-тектонические и
2. Вулкано-тектонические.

К первым относятся нарушения генерального разломного пояса северо-восточного простирания, в котором наряду с главными северо-восточными и северо-западными разломами отмечается ряд трещин и трещинных зон других направлений. Эти нарушения — один из факторов, обусловивших возникновение и распределение древних и современных вулканических центров на Курильских о-вах. Они фиксируются линейным расположением вулканов и самими островами Курильской гряды, проявлениями на них или в непосредственной близости к ним зон сульфидизации и парогидротермальными выходами. К этому типу нарушений относятся также трещины всевозможных направлений, возникшие при смятии в складки пород фундамента о-вов.

Вулкано-тектонические нарушения — кольцевые и радиальные разломы, вулканические каналы и др. — приурочены к вулканическим постройкам и обусловлены историей развития вулканической деятельности. Их присутствие подтверждается соответствующей морфологией вулканических построек, наличием зон измененных пород и рядом других признаков.

К парогидротермальным проявлениям, обусловленным собственно-тектоническими нарушениями и приуроченным к ним, относятся горячие источники — Башмачные, Дробные, Закатные и Обвальные на Шиашкотане, м. Ключевого на Урупe, Ключевские, Стокапские и Осочные на Итурупе, Добрый Ключ и Горячий Пляж на о. Кунашир.

Как видно из картосхемы, действующие вулканы Синарка и Кунтоминтар и потухший вулкан Каменные Ловушки попадают на одну прямую линию. Напрашивается вывод, что эти вулканические постройки покоятся над одним и тем же глубинным разломом северо-восточного простирания, и их местоположение предопределено им. Очевидно, что этим разломом обусловлена и повышенная температурная аномалия, с которой связаны Башмачные, Дробные, Закатные и Обвальные горячие источники. Выходят на поверхность эти источники в трещинах неогенового фундамента острова, возникших в результате складкообразования. Эти трещины хорошо прослеживаются в районе Башмачных и Дробных источников, где они имеют се-

веро-западное простирание, крутой угол падения и выполнены жилами кремнезема.

Приуроченность гидротерм Ключевого мыса к нарушениям первого типа обосновывается их местоположением в непосредственной близости к зоне генерального разлома северо-восточного простирания, фиксируемой вулканами Трезубец, Берга, Колокол, Борзова, Три Сестры, Рудакова и Ивао, а также их выходом среди неогеновых пород.

Горячие источники Ключевские, Стокапские и Осочные связаны с глубинным разломом, на котором расположены вулканы Баранского, Тебенькова, Иван Грозный, Мотонопури, Ребуншири, Урбич и Берутарубе. Источник Добрый Ключ находится на линии разлома, проходящего от вулкана Головнина к вулкану Тятя и обусловлен им. Кроме того, его местонахождение само фиксирует этот разлом.

Парогидротермы Горячего Пляжа генетически связаны с трещинной зоной северо-восточного направления и сами фиксируют ее. Об этом свидетельствует вытянутость термальной зоны в северо-восточном направлении и расположение наиболее интенсивных паровыделений и основных горячих источников вдоль прямой линии этого же простирания. Существование этой зоны тектонических нарушений подтверждается и сильным изменением пород (на мысе Горячем), а также развитие на участке Горячего Пляжа псевдодайки северо-восточного направления.

Детальная термосъемка района Горячего Пляжа позволила выделить паропроводящую систему трещин восточного и юго-восточного направлений, соответствующую поперечным "перемычкам" между температурными максимумами первого направления. Важным подтверждением существования второй системы трещин может быть развитие на термальной площадке липарито-дацитово-экструзии с юго-восточным простиранием плоскостей течения.

Парогидротермы Горячего Пляжа, будучи расположенными у подножья вулкана Менделеева, непосредственно не связаны с историей формирования его современной постройки.

Парогазовыделения и горячие источники (парогидротермы) вулканов Эбеко, Влодавца и Карпинского на Парамушире, Синарка и Кунтомингар на Шиащкотане, Ушишир и Кетой — на одноименных островах, Заварицкого на Симушире, Трезубец и Берга на Урупе, Медвежий, Чирип и Берутарубе — на Итурупе, Менделеева и Головнина на Кунашире приурочены к вулканотектоническим разрывным нарушениям, генетически обусловлены историей деятельности современных вулканов.

К термам, находящимся в современных кратерах, древних жерлах вулканов и воронках взрыва, относятся парогидротермы Северного, Среднего и Южного кратеров на Эбеко, Кунтомингара, Ушишир, Кетой, восточные и западные Головинские горячие источники.

К парогидротермам, обусловленным кольцевыми разломами, относятся фумаролы и горячие источники Юго-Восточного, Восточного, Северо-Восточного и Северо-Западного фумарольных полей вул-

кана Менделеева. Парогазовые выделения и горячие источники, связанные с выжиманием экструзивных куполов, проявляются в кальдере Заварицкого, на вулканах Синарка и Головинна.

Остается невыясненным, к каким разрывным нарушениям приурочен ряд гидротерм Охотского побережья о. Кунашир и Алехинские, Третьяковские и Столбовские горячие источники. Как видно из картосхемы, они попадают на продольный разлом, фиксируемый зонами сульфидизации и образования древних вулканических центров. Это соображение как бы свидетельствует о приуроченности указанных терм к трещинным зонам собственно-тектонического типа. Расположение источников у подножий вулканов Менделеева и Головинна среди вулканогенных образований и кислый химический состав их вод заставляют сомневаться в правильности такого предположения. Открытым остается вопрос и относительно генезиса Нескученских источников. Их местоположение на линии поперечного разлома, проходящего через вулканы Тятя и Руруй, и их линейная вытянутость вдоль берега как будто подтверждают наличие трещин северо-западного и северо-восточного простирания и приуроченность источников к линиям этих собственно-тектонических нарушений.

Однако это предположение требует проверки, поскольку воды источников имеют кислый состав и приурочены к вулканическим образованиям.

В заключение следует подчеркнуть, что два типа разрывных нарушений, с которыми связаны гидротермы Курильских островов, хотя и четко разграничиваются, тем не менее имеют как генетическую, так и, во многих случаях, гидродинамическую связь.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГИДРОТЕРМ. ИХ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РАБОТА

Термальные воды Курильских о-вов формируются главным образом за счет инфильтрационных холодных вод, попадающих в поля повышенных температур. Поэтому, прежде чем останавливаться на химизме гидротерм, необходимо коротко охарактеризовать эти воды. Согласно О.Н. Толстихиной, поверхностные воды обычно слабо минерализованы (не более 150 мг/л) и в них преобладают из анионов — гидрокарбонат, а из катионов — Са и Na. Минерализация грунтовых вод трещинных и поровых также небольшая. Состав хлоридно или сульфатно-гидрокарбонатный. Из катионов присутствует кальций при относительно высоком содержании Na, который, как отмечает О.Н. Толстихин, иногда, особенно на склонах горных хребтов, обращенных к морю, становится доминирующим катионом. "Некоторое повышение минерализации грунтовых вод, — пишет он (имея в виду не только Курильские острова, но и Камчатку), — и изменение их состава в сторону увеличения хлоридов Na до перехода пресных вод в солоноватые наблюдается лишь непосредственно в районе береговых, обычно в узкой полосе, ширина которой не превышает 20 км".

Средний состав их:

$$M_{0,2-1} = \frac{Cl \ 60-70 \ HCO^3 \ 10-20 \ SO^4 \ 5-7}{(Na + K) \ 50-60 \ Mg \ 20-30 \ Ca \ 18-20} .$$

Состав грунтовых вод в молодой пирокластике – сульфатно-кальциевый.

Имея в виду высокий геотермический градиент, наличие вулканических очагов и интрузий, создающих поля высоких температур, можно предполагать, что воды глубокой циркуляции на Курильских островах всегда термальные. Как отмечал О.Н. Толстихин, минерализация их в большинстве источников не превышает 5 г/л: "Только отдельные выходы, расположенные в непосредственной близости от морских побережий, обладают более высоко минерализованными водами до 11 г/л, причем по соотношению между компонентами воды этих источников весьма близки к морским". Очевидно, морская вода и солевой состав морских осадков оказывают существенное влияние на химизм подземных вод Курильских островов. Меньшему "заражению" компонентами морской воды подвергаются поверхностные воды, особенно воды, образующиеся при таянии снежников на высоких склонах вулканов.

Во многих случаях на поверхностные или подземные воды воздействуют магматические газы, повышая их температуру и изменяя состав. Наиболее ярко это влияние проявляется в кратерах вулканов, на контактах с экструзивными куполами и т.п., когда фумарольные газы воздействуют на слабоминерализованные воды, "не зараженные" компонентами морской воды. Растворение вулканических газов в минерализованных водах или смешивание их с фумарольными водами приводит к разнообразию составов гидротерм Курильских островов. Типичные представители фумарольных терм – гидросольфатары вулканов Эбеко, Кунтоминтар, Берутарубе и др.

Для характеристики фумарольных газов, формирующих состав подобного рода терм, можно пользоваться таблицей из работы Ивасаки и соавторов "Вулканические газы Японии" (табл. 68).

Фумарольные газы изучались на ряде вулканов Курильских островов, в частности, на вулкане Эбеко. Химический состав и геохи-

Таблица 68

	Температура в °С	Химические компоненты (с вычетом водяного пара)
I	1200-800	HCl, SO ₂ , CO ₂ , H ₂ > H ₂ S, N ₂
II	800-200	{ A HCl, SO ₂ H ₂ S, CO ₂ > N ₂ , H ₂
III	100-60	{ B SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ > N ₂ > HCl, H ₂
IV	ниже 60	H ₂ S, CO ₂ > N ₂ > SO ₂ > H ₂
		CO ₂ > H ₂ S = N ₂

Таблица 69

Средний состав фумарольных газов вулкана Эбеко

Компоненты	%	г/л	Компоненты	%	г/л
H ₂ S	0,34	0,005	CO	0,05	0,0006
SO ₂	0,77	0,02	CH ₄	0,08	0,0006
CO ₂	94,6	1,87	O ₂	0,48	0,0007
HCl	0,56	0,009	N ₂	-	0,036
H ₂	0,04	0,0003	H ₂ O	-	7,6

мическая работа гидросольфатар вулкана Эбеко заслуживают особого рассмотрения.

При рассмотрении химических анализов термальных вод вулкана обращает на себя внимание следующее:

1. Качественно близкий состав гидросольфатар на всех сольфатарных полях. Именно — основными анионами термальных вод на всех сольфатарных полях являются SO₄ и Cl. Основными катионами — основные породообразующие элементы (за исключением Si).

2. Резко различный (количественно) состав гидросольфатар в пределах даже одного и того же сольфатарного поля. В частности, отношение ионов Cl к ионам SO₄ варьирует от 1/9 до 282, для 2-го Восточного поля и от 1/22 до 282, в среднем для всех рассмотренных сольфатарных полей.

Общая минерализация колеблется в пределах от 0,6 до 51 г/л. Содержание Cl от 0,034 до 46,5 г/л, т.е. до 1,3 нормального раствора HCl. Содержание SO₄ от 0,304 до 11,6 г/л, т.е. до 0,24 нормального раствора H₂SO₄. Концентрация водородных ионов от 1 до 10⁻³ г/иона/л (pH от 0 до 3).

3. Отсутствие прямой зависимости состава гидросольфатар от их температуры. А именно: более высокотемпературные термальные воды могут быть менее минерализованными и, в частности, меньше содержать ионов Cl и SO₄, чем термальные воды с меньшей температурой.

Рассматриваемые гидротермы вулкана Эбеко представляют собой снежные талые воды (поверхностные или неглубокие подземные), прогретые вулканическими газами. Наиболее подробно газы вулкана Эбеко изучены Л.В. Сурниной в августе 1957 г. (1959). По ее данным, в сольфатарах вулкана содержалось H₂S от 0 до 1,33, SO₂ от 0,04 до 3; CO₂ от 89,13 до 98,51; HCl от 0,04 до 2,9; H₂ от 0 до 0,4; CO от 0 до 0,3; CH₄ от 0 до 0,3; O₂ от 0 до 1,5; N₂ от 0 до 8,6 объемных процентов¹; H₂O от 3 до 30 г/л.

Средние значения по 10 фумаролам с разных сольфатарных полей приведены в табл. 69.

¹ Объемные проценты без учета водяного пара.

Таблица 70

Вынос основных химических компонентов сольфатарми вулкана Эбеко, т

Компоненты	За час	За сутки	За год
H ₂ S	0,330	7,920	2882,88
CO ₂	123,2	2962,08	1078792,1
SO ₂	1,320	31,680	531,52
HCl	0,59	14,16	5154,24
H ₂	0,0012	0,03	10,92
CO	0,039	0,93	330,7
CH ₄	0,039	0,93	330,7
O ₂	0,046	1,10	440,4
N ₂	0,21	5,04	1834,5
H ₂ O	501,6	12038,4	4381832

Таблица 71

Анионный состав конденсата сольфатарных паров вулкана Эбеко

Анионы	Западный берег тепло- го озера, конденсат		Сольфатара 8, конден- сат 2; T(°C) = 96; 3/VI 59 г.		Сольфатара 16, конден- сат 3, T(°C) = 87; 4/VI 59 г.	
	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв
Cl ⁻	0,1	2,8	0,570	16,0	0,0855	2,4
SO ₃ ⁻	0,02	0,5	-	-	0,02	0,5
SO ₄ ⁻	0,025	0,56	0,05	1,04	0,073	1,4
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
CO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
pH	5		3		5	

Таблица 71 (окончание)

Анионы	Сольфатара 17, конден- сат 4, T(°C) = 90; 4/VI 59 г.		Сульфатара 34; T(°C) = =97; 11/VI 59 г		Сольфатара 56, T(°C) = =97; 11/VI 59 г.	
	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв
Cl ⁻	0,180	5,0	0,266	7,5	0,496	13,9
SO ₃ ⁻	0,154	3,85	0,345	8,6	0,1536	3,3
SO ₄ ⁻	0,488	10,1	2,3	47,8	0,640	11,2
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
CO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-
pH	3		1,8		1,2	

А.С.Нехорошевым (1960) общий дебит сольфатарного пара (по состоянию летом 1957 г.) оценен в $66 \cdot 10^6$ литров пара в час.

Следовательно, сольфатарами вулкана Эбеко выносятся в атмосферу в тоннах (табл. 70).

По-видимому, еще большее количество сольфатарных паров поглощается поверхностными и подземными водами.

Сопоставляя данные анализов вулканических газов с данными анализов термальных вод, легко видеть, что анионный состав термальных вод обусловлен растворением в воде HCl и растворением и окислением SO_2 и H_2S до H_2SO_4 . В этом отношении интересны данные об анионном составе конденсатов сольфатарных паров (табл. 71).

Обращает на себя внимание тот факт, что содержание анионов Cl^- и SO_4^{--} в конденсатах вулканических паров значительно ниже, чем во многих горячих источниках. Максимальное содержание HCl в конденсатах по сборам 1959 г. — 4,96 г/л, а SO_4^{--} — 2,3 г/л. Максимальное содержание HCl в горячих водах = 47 г/л, а SO_4^{--} = 11,6 г/л. Это объясняется тем, что ряд грифонов в Эбеко постепенно обогащается HCl и H_2SO_4 за счет преимущественного испарения воды. Как известно, преимущественное испарение воды из раствора HCl и H_2SO_4 в воде продолжается до тех пор, пока кон-

Таблица 72

Химические анализы свежей и гидротермально измененной породы вулкана Эбеко

Компоненты	1		2	
	Вес. %	Экв. атомные %	Вес. %	Экв. атомные %
SiO ₂	53,03	50,73	27,70	35,9
TiO ₂	0,72	0,51	0,36	0,4
Al ₂ O ₃	19,15	21,2	25,20	38,5
Fe ₂ O ₃	4,02	2,82	1,50	1,40
FeO	5,57	4,34	-	-
MnO	0,16	0,05	-	-
MgO	3,66	5,1	0,16	0,3
CaO	9,06	9,15	4,99	6,9
Na ₂ O	2,85	5,2	4,87	12,2
K ₂ O	1,25	1,58	2,57	4,3
H ₂ O	0,50	(1,5)	11,90	(52,2)
SO ₃	-	-	13,50	(13,2)
Потери при прок.	-	-	7,47	-
Сумма	100,17	99,9	100,22	99,9

1. Авгитовый андезит центрального конуса. Образец 124 из сборов Г.С.Горшкова. Аналитик Н.Н.Постникова.

2. Гидротермально-измененная, белая порода с северо-восточной стенки кратера с теплым озером. Образец 523 из сборов Е.К.Мархинина. Аналитик В.С.Скорехова.

центрация HCl в растворе не достигнет 20,2%, а концентрация H₂SO₄ даже 98,3%. После этого дальнейшей концентрации HCl и H₂SO₄ уже не происходит и при испарении поддерживается их постоянная концентрация. Практически же растворы в грифонах таких высоких концентраций HCl и H₂SO₄ не достигают, так как они постоянно разбавляются метеорными водами.

Если анионный состав вод вулкана Эбеко формируется за счет растворения в них вулканических газов, то катионный их состав обуславливается главным образом взаимодействием кислых горячих водных растворов с вулканическими породами, по которым они циркулируют.

Процессу гипергенно-гидротермального разложения больших масс вулканических пород способствует интенсивный снос поверхностными водотоками ранее разложенных пород и постоянное обнажение относительно свежих пород. Химические анализы двух пород — свежей и измененной под действием гидротермальных растворов вулкана Эбеко приведены в табл. 72.

Тот и другой анализы пересчитаны на "эквивалентные процессы" для удобства оценки выноса из пород элементов при взаимодействии их с растворами.

Сравнение показывает, что на каждые 100 породообразующих атомов приходится (без кислорода):

Компоненты	Содержание относительно уменьшается	Содержание относительно увеличивается	Компоненты	Содержание относительно уменьшается	Содержание относительно увеличивается
Si	14,1	-	Mn	0,05	-
Ti	0,1	-	Mg	4,8	-
Al	-	17,3	Ca	2,2	-
Fe ⁺⁺	1,4	-	Na	-	7
Fe ⁺⁺⁺	4,3	-	K	-	2,7

При испарении сильно минерализованных термальных вод, подобных водам грифонов 30 и 31, на поверхности земли образуются "выпарки" сульфатов сложного состава. Анализы некоторых из них приведены в табл. 73.

Сформировавшиеся в поверхностных условиях кислые термальные растворы, проникая на некоторую глубину, могут встретить восходящие газовые струи с сероводородом. При этом в результате восстановительных реакций возможно выпадение сульфидов металлов по схеме:



Таким путем, по-видимому, на вулкане Эбеко, так же как на вулкане Менделеева, происходило образование черных, тяжелых, обогащенных сульфидом железа, пород.

Таблица 73

Химические анализы естественных минеральных выпарок с сольфатарных полей вулкана Эбеко. Аналитик И.Б. Никитина

Компоненты	Образцы					
	502	503	515	516	517	532
Al ₂ O ₃	11,50	8,44	8,20	10,83	10,92	7,35
FeO	2,71	4,49	2,86	2,27	1,12	6,12
Fe ₂ O ₃	-	-	-	0,56	2,82	0,45
CaO	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
MgO	0,65	0,68	1,14	0,59	0,93	0,40
MnO	-	-	-	-	0,0п ⁻	Сл.
Na ₂ O	Сл.	Сл.	Сл.	1,81	2,45	2,10
TiO ₂	-	-	-	Не обн.	Не обн.	0,0п ⁻
SO ₃	37,40	32,60	41,10	28,30	28,40	25,60
Cl	0,15	0,26	0,19	5,52	6,70	3,93
H ₂ O ⁺	46,60	50,40	43,70	41,40	33,60	39,30
H ₂ O ⁻						
H ₂ S	0,12	0,05	0,20	-	-	-
Не растворимый остаток	1,12	2,82	2,75	0,54	1,16	6,04
Сумма	100,33	99,74	100,14	101,62	101,80	101,39

Образец 502. Белый возгон с южного берега Горячего озера. Собран с камней, между которыми просачиваются горячие пары. С белым возгоном кое-где отлагается ярко-желтая сера, которая местами окрашивает его в желтый цвет.

Образец 503, взят там же. Отличается от 502 только канареечным цветом.

Образец 515. Белый возгон с северо-восточного сольфатарного поля.

Образец 516. Желтый возгон с северо-восточного сольфатарного поля.

Образец 517. Оранжевый возгон с северо-восточного сольфатарного поля.

Образец 532. Желтый возгон с северо-восточного сольфатарного поля.

Ниже приводится химический анализ образца такой породы (вес. %):

SiO₂ - 27,70; TiO₂ - 0,47; Al₂O₃ - 14,70; Fe₂O₃ - 4,25;
 FeO - 13,32; MgO - 0,20; MnO - 0,6; CaO - 0,51; N₂O - 6,75;
 K₂O - 1,91; H₂O - 6,10; H₂O - 2,16; SO₃ - 2,70; S - 12,08;
 пп - 4,4.

S в породе, по-видимому, связана с Fe в FeS₂. Связывая всю S с Fe, имеем 22,4% FeS₂.

Л.П. Никитиной изучалось распределение Al, Fe, Ti и SiO₂ в природных растворах в диапазоне pH - от -0,20 до 2,40 с содержанием Cl - от 50 до 60 000, F - от 0 до 80 и анионов серной кислоты - от 1000 до 14 000 мг/л.

Установлено, что с уменьшением кислотности растворов содержание алюминия в них уменьшается. С увеличением концентрации

хлор-фтор - и серосодержащих ионов содержание алюминия в растворах увеличивается, причем серная кислота более чем галоидные кислоты, способствует накоплению алюминия в fumarольных термах.

Содержание железа (взято суммарное железо в форме Fe^{3+}) с уменьшением кислотности растворов в них уменьшается. Положительное влияние pH растворов на концентрацию железа в fumarольных термах (по Л.П. Никитиной) заметно только в области отрицательных и самых низких положительных величинах pH (до 0,30). Повышение pH до 2,40 не сказывается на содержании железа в водах. Оно увеличивается с увеличением концентрации хлор-фтор - и серосодержащих ионов. Отмечается почти одинаковое влияние анионов сильных кислот, способствующих концентрированию железа в природных растворах.

По данным Л.П. Никитиной, содержание титана с уменьшением кислотности природных растворов в них понижается. Увеличение хлора и фтора приводит к увеличению содержания титана. Содержание титана увеличивается также с увеличением концентрации анионов серной кислоты. Однако зависимость $Ti - SO_4$ проявляется в меньшей степени, чем та же для $Ti - Cl$ и $Ti - F$. Это связано с преобладанием в исследуемых природных растворах анионов галоидных кислот, особенно хлор-иона, которые определяют высокую кислотность fumarольных терм, в то время, как анионы серной кислоты чаще всего играют подчиненную роль. Л.П. Никитина предполагает, что титан частично поступает в природные растворы в составе fumarольных газов в форме легко летучих галоидных соединений.

По данным Л.П. Никитиной, содержание кремнекислоты (взято в форме SiO_2) с уменьшением кислотности растворов в них несколько увеличивается. С увеличением концентрации хлор-иона содержание кремнекислоты уменьшается. При увеличении в растворах концентрации фтор-иона в интервалах 0,4 и 4-10 мг/л содержание кремнекислоты возрастает; затем в интервале концентраций фтор-иона 10-80 мг/л содержание SiO_2 уменьшается. В интервале концентраций серосодержащих ионов 4000-7000 мг/л содержание кремнекислоты уменьшается с 300 до 200 мг/л и затем при увеличении концентраций анионов остается постоянным.

Таким образом, анионы серной кислоты способствуют накоплению кремнекислоты в fumarольных термах в большей степени, чем анионы галоидных кислот. Кроме того, Л.П. Никитиной отмечается закономерное отрицательное влияние низких значений pH (-0,2-0,80) растворов на концентрирование в них кремнекислоты, что, очевидно, связано с образованием в ультракислых водах коллоидных форм SiO_2 .

Большой интерес представляет вопрос о выносе растворенных веществ термальными водами со склонов вулкана Эбеко.

Поскольку ручей Лагерный собирает термальные воды со всего восточного склона вулкана, то, оценивая геохимическую работу ручья, мы оцениваем работу по выносу вещества гидротермами с восточного склона.

Масса транспортируемых за пределы вулкана веществ ручьем Лагерным изменяется в зависимости от концентрации компонентов и расхода вод.

В 1959 г. расход воды р. Лагерного был равен 16 л/сек и ежесуточный вынос растворенных веществ составлял - 1,1 т, в том числе (в кг):

Cl^-	156,5	Ca^{++}	71
SO_4^{--}	570	Fe^{+++}	49
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	76	Al^{+++}	18,5
Mg^{++}	24		

Расход воды в устье реки Кузьминки, недалеко от впадения в Тихий океан в 1966 г., согласно данным Л.П. Никитиной, был равен 3800 л/сек. Ежесуточно рекой выносилось в океан в т: 0,66 железа и 1,38 алюминия, а также 1,64 кг титана. По данным Л.П. Никитиной, алюминий, железо, титан и кремний переносятся в составе термальных растворов в двух состояниях: в ионо-дисперсном и коллоидном, однако наблюдается различие в распределении элементов между этими состояниями. Перенос титана в ионо-дисперсном виде ограничен низкими величинами pH растворов и поэтому большая его часть при $\text{pH} > 1,5$ движется в коллоидной форме. Образование гидрוליных форм титана происходит прежде чем образование тех же железа, кремнекислоты и тем более алюминия. Об этом же говорит уменьшение величин отношений Ti/Fe , Ti/SiO_2 и Ti/Al по ходу ручья. Увеличение величин этих отношений для вод устья р. Кузьминки связано с процессом интенсивного образования гидроокисей железа и алюминия. Оставшийся в минимальных количествах растворенный титан уже не реагирует на уменьшение кислотности вод, и в состоянии истинного раствора (0,005 мг/л при $\text{pH}=4,30$) достигает акватории Тихого океана.

Железо в составе вод ручья, в основном, присутствует в трехвалентной форме и поэтому начинает осаждаться при $\text{pH} > 2$ и движется к океану, в основном, в коллоидном состоянии. В водах устья р. Кузьминки при значении $\text{pH}=4,30$ в составе раствора остается 2 мг/л Fe^{+++} .

Алюминий выносится за пределы вулкана ручьем Лагерным преимущественно в ионно-дисперсном состоянии и только в реке Кузьминке при величине $\text{pH} > 4$ начинает осаждаться. Однако во взвешках вод ручья Лагерного присутствуют гидроокислы Al, появление которых связано с резким перепадом температур термальных вод при смешении с холодными водами.

Кремнекислота в водах ручья также мигрирует в составе истинного раствора. Образование ее коллоидных форм характерно для ультракислых растворов, которые и являются поставщиками коллоидной кремнекислоты в воды ручья Лагерный.

Как это было отмечено Л.П. Никитиной, усиление газо-гидротермальной деятельности вулкана Эбеко, выразившееся в кульминационном фреатическом извержении 1967 г., привело к увеличению со-

держания металлов, переносимых в составе термальных вод ручья Лагерного и р. Кузьминки в Тихий океан.

Вывос растворенных веществ с западного склона вулкана Эбеко осуществляется рекой Юрьева.

В 1960 г. дебит реки составлял $1,8 \text{ м}^3/\text{сек}$. С течением времени дебит реки в устье существенно не менялся, в среднем он составлял $2,0 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Общий вынос растворенных веществ составляет $1,130 \text{ т}$ в сутки. В 1960 г. рекой Юрьева ежесуточно выносилось в тоннах

Cl^-	264	Mg^{++}	13
SO_4^{--}	661	Ca^{++}	30
F^-	0,31	$\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}$	30
Br^-	0,03	Al^{+++}	68,5.
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	27		

Согласно Л.П. Никитиной, Al , Fe , Ti и SiO_2 , начав совместно миграцию из пород в составе термальных ультракислых вод источников, в поверхностных условиях транспортируются термальными водами реки Юрьева в различных состояниях: истинно растворенном и в виде взвесей. Распределение вещества между этими состояниями зависит от их физико-химических свойств. Но обязательно равновесной твердой фазой в разбавленных сульфатнохлоридных растворах, которыми являются исследуемые термальные воды, будут гидроокислы алюминия, железа и титана, а для ортокремниевой кислоты в этих растворах — коллоидная SiO_2 .

Перенос титана в состоянии истинного раствора ограничен низкими значениями pH, и поэтому большая часть его движется к бассейну седиментации в составе взвесей. Осаждение гидроокисей алюминия и железа происходит при более высоких значениях pH, чем наблюдаемые для вод р. Юрьева и поэтому практически вся масса растворенных алюминия и железа транспортируется до акватории Охотского моря в состоянии истинного раствора и только там происходит основная их садка.

Как отмечает Л.П. Никитина, количества выносимых в Охотское море металлов находятся в прямой зависимости от активности вулкана Эбеко. Уменьшение кислотности и температуры глубинных растворов, уменьшение их реакционной способности и выноса породообразующих элементов термальными водами Верхнеюрьевских источников и рекой Юрьева совпало по времени с усилением активности вулкана в 1963–1969 гг. особенно с кульминационным фреатическим извержением в 1967 г. и, возможно, связано с оттоком эндогенных эманаций через эруптивную трещину на вершине вулкана. Вынос растворенных веществ рекой Юрьева в Охотское море в 1968 и 1969 гг. уменьшился почти в два раза по сравнению с 1957 и 1959 гг. В качестве примера концентрации металла на вулкане приведем месторождение лимонита Красные озера, формирующееся в кратере Кунтоминтара. Рассмотрим выпадение железа вод Кратерного ручья.

Железо выщелачивается из вмещающих пород только в виде двухвалентных ионов. В искусственных конденсатах и в горячих гермах (природных конденсатах сольфатарных паров) концентрация Fe^{++} составляет соответственно 10 мг/л и 72 мг/л, Fe^{3+} - в обоих случаях 0,3 мг/л. В поверхностных условиях двухвалентный ион окисляется в трехвалентный. В 1 л раствора у выхода из кратера содержится Fe^{++} - 28 мг, Fe^{+++} - 40 мг, у входа в котловину-кальдеру источников с левого борта кратера - Fe^{++} - 1 мг, Fe^{+++} = 82-90 мг.

Общий вынос железа источниками из кратера и с левого борта кратера примерно равен 300 кг в сутки (в т.ч. из кратера Fe^{++} - 77 кг, Fe^{+++} - 103 кг, с левого борта кратера - Fe^{+++} - 120 кг). Выпадение из раствора соединений железа наблюдается при pH больше 2. В руслах ручьев с pH воды от 2 до 2,5 аллювиальные отложения из-за примеси осаждающихся гидратов окиси железа имеют буроватый цвет.

Наиболее интенсивное осаждение Fe из раствора происходит при повышении величины водородного показателя от 3 до 4. Так, общее содержание железа в Северном ручье на участке от места его ответвления от Кратерного ручья (pH=3) до Ступенчатой котловины (pH=4) уменьшается от 71 мг/л до 4 мг/л; в Северном ручье при соответствующем увеличении pH концентрация железа в 1 л раствора уменьшается от 77 мг до 30 мг.

На участке Северного ручья в связи с крайне медленным течением воды выпадающее железо отлагается на дне ручья и котловин в виде линзовидных залежей. В пределах Красных озер и Ступенчатой котловины мощность линз варьирует от 1 до 10 м, составляя в среднем около 3 м. Отложения однородной (равномерной) текстуры рыхлые, объемным весом около 2 г/см³ и содержат включения ожелезненных остатков растительности (стебли трав и местами кустарниковые листья). Общие запасы, имея в виду, что их площадь распространения в котловинах равна примерно 13 тыс.м², составляют 100-200 тыс.т. Состав (в %) осадка со дна Красных озер и Ступенчатой котловины:

SiO ₂ - 2,56	MnO - 0,01	H ₂ O ⁻ - 11,9
TiO ₂ - 0,25	MgO - 0,43	H ₂ O ⁺ - 12,17
Al ₂ O ₃ - 1,84	CaO - 0,20	SO ₃ - 10,01
Fe ₂ O ₃ - 59,56	Na ₂ O - 0,37	Σ - 100,68
FeO - 1,15	K ₂ O - 0,24	

Из этих данных видно, что из вод ручья в районе Красных озер и Ступенчатой котловины железо садится в виде гидрата и сульфата. Всего в сутки северным ручьем на этом участке (Кратерный ручей - Ступенчатая котловина) отлагаются примерно 40 кг железа.

Из вод Западного ручья железо также откладывается в виде лимонита и ярозита. Однако в связи с относительно быстрым течением ручья, выпадающий из раствора осадок в основном сносится в море в виде механической взвеси. Всего этим ручьем в сутки

выносятся в море около 320 кг железа, в том числе во взвешенном состоянии около 160 кг.

Встречающиеся местами на дне котловины-кальдеры прослойки лимонита свидетельствуют о наличии в прошлом затопляемых котловин, в которых происходили те же процессы, что и ныне в районе Красных озер и Ступенчатой котловины.

Кислые термальные растворы, основные черты химического состава которых мы выше отметили, воздействуя на вулканические породы, приводят к "выщелачиванию" из них не только порообразующих элементов, но и части рассеянных и к изменению концентрации последних. В этом отношении интересно сравнение спектральных анализов свежих и измененных пород (табл. 74).

Таблица 74

Спектральные анализы свежих и измененных пород вулкана Эбеко

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
Be	1	1	-	-	-	1	-	-
Se	1	1	1	1	1	1	-	-
Pb	-	1	-	1	1	-	1	1
Ga	2	2	2	2	2	2	2	3
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-
V	4	4	4	4	4	4	3	4
Cu	3	3	3	3	4	3	4	3
Jn	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	1	1	1	-	-	1	2	-
Ni	1	1	2	1	1	1	1	-
Zr	3	2	3	3	3	3	2	2
Cr	-	-	2	-	-	-	-	3
Ba	6	6	4	6	6	4	6	3

Таблица 74 (окончание)

Компоненты	9	10	11	12	13	14	15	16
Be	-	-	-	-	-	-	-	-
Se	-	-	-	1	-	-	-	-
Pb	1	1	1	-	-	-	-	-
Ga	2	2	2	2	1	1	-	-
Bi	-	-	1	-	-	-	-	1
V	4	4	5	4	2	3	-	-
Cu	3	3	3	3	3	3	1	1
Jn	-	-	-	-	-	1	-	-
Co	-	-	-	1	-	1	-	-
Ni	1	1	-	2	-	2	-	-
Zr	3	2	1	2	2	2	-	-
Cr	-	2	7	5	-	4	-	-
Ba	6	5	6	5	6	4	-	-

Не обнаружены: As, Tc, P, Sb, Pt, Ta, Tl, Sn, Nb, W, Lu, Mo, Cd, Ag, La.
1-16 см. в тексте

1. Свежий андезит от крупной глыбы в Верхнем кратере вулкана Эбеко. Образец 304¹.
 2. Свежий андезит от крупной глыбы внутри кратера Неожиданного. Образец 514.
 3. Свежий андезит от лавового потока с внутренней стенки Северного кратера. Образец 518.
 4. Свежий андезит от крупной глыбы внутри Северного кратера. Образец 519.
 5. Свежий андезит из района западного сольфатарного поля. Образец 521.
 6. Свежий андезит от лавового потока кратера Незаметного. Образец 529.
 7. Измененная порода с борта теплого ручья, вытекающего из грифона 9. Образец 522.
 8. Алунитизированная порода от северо-восточной стенки Среднего кратера. Образец 523.
 9. То же. Образец 524.
 10. Гидротермально-измененный андезит ("серая глина") со второго восточного сольфатарного поля. Образец 527.
 11. Алунитизированная порода с ручья Лагерного. Образец 529.
 12. То же. Образец 531.
 13. Слоистый осерненный туф - озерные отложения в Среднем кратере. Образец 520.
 14. Черная тяжелая порода, обогащенная железом, с ручья Лагерного. Образец 530.
 15. Сера натечная с южного берега теплого озера. Образец 561.
 16. Сера возгонная с южного берега теплого озера. Образец 562.
- Se - открыт во всех 6 образцах неизменных пород (№ 1 - 8) и только в 1 из образцов гидротермально-измененных пород).
- Rb - открыт в 3 (из 6) образцах неизменных пород и в 5 (из 6) образцах гидротермально-измененных пород (1 балл. линии).
- Ga - открыт во всех образцах неизменных пород и гидротермально-измененных андезитах (В 11 случаях 2 балл. линии; в случае для образца измененной породы - 3 балл. линии).
- Bi - в неизменных породах не открыт. Открыт в одном образце гидротермально-измененной породы (1 балл. линии).
- V - открыт во всех образцах неизменных (4 балл. линии) и гидротермально-измененных андезитов (3-5 балл. линии).
- Cu - открыта во всех образцах неизменных и гидротермальных измененных андезитов (3-4 балл. линии).
- Zn - не открыт ни в одном из 12 образцов неизменных и измененных андезитов. Открыт (в 1 балл. линиях) в образце черной тяжелой, обогащенной железом, породы.
- Co - открыт в 4 (из 6) образцах неизменных пород (1 балл. линии) и в 2 (из 6) образцах гидротермально-измененных пород (1-2 балл. линии).

¹ Все образцы из коллекции Е.К. Мархинина.

Таблица 75

Чувствительность спектроскопического открытия и приблизительная количественная оценка содержания химических элементов

Название элементов	Чувствительность открытия в %	Яркость спектральных линий и соответствующее %-ное содержание элементов			
		1-3 балла	3-6 баллов	6-9 баллов	10 баллов
1	2	3	4	5	6
Фосфор	0,1-0,5				
Литий					
Тантал	0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	0,5 и >	
Ниобий					
Иттрий					
Лантан					
Торий					
Кобальт	0,01	0,01-0,1	0,1-0,5	0,5-и >0,5	>0,5
Мышьяк					
Сурьма					
Теллур					
Вольфрам					
Цинк					
Ванадий					
Щирконий					
Титан	0,005	0,005-0,05	0,05-0,5	0,5-и >0,5	>> 0,5
Скандий					
Хром					
Никель					
Молибден					
Кадмий					
Свинец					
Марганец					
Таллий					
Германий	0,001	0,001-0,01	0,01-0,1	0,1-0,5	> 0,5
Индий					
Олово (Таллий)					
Медь					
Барий	0,0005	0,0005-0,005	0,005-0,05	0,05-1,0	1
Серебро					
Висмут					

Ni - открыт во всех образцах неизменных пород и в 4 (из 6) образцах гидротермально-измененных пород (1-2 балл. линии).

Zr - открыт во всех образцах неизменных пород (преимущественно 3 балл. линии) и во всех образцах гидротермально-измененных пород (преимущественно 2 балл. линии).

Sr - открыт в 1 (из 6) образце неизменных пород (2 балл. линии) и в 4 (из 6) образцах измененных пород (2-7 балл. линии).

Ba - открыт как в неизменных, так и в измененных породах (в 4-6 балл. линиях).

Из этих данных можно сделать предварительное заключение (учитывая небольшое количество спектральных анализов) о том, что в процессе гипергенно-гидротермального изменения пород на вулкане

Эбеко, кобальт, никель, цирконий и стронций, по-видимому, "выщелачиваются" из пород наряду с большинством породообразующих элементов. Остальные открытые элементы либо заметно не меняют своей концентрации (галлий, ванадий, медь), либо для них намечается даже тенденция чаще обнаруживаться и проявляться в более "сильных" линиях в измененных "выщелоченных" породах (свинец, висмут, хром).

В табл. 76 приведены данные спектральных анализов сухих остатков после выпаривания вод и конденсатов (1-9), данные спектральных анализов образцов сульфатов и их нерастворенных остатков (10-19) и данные спектральных анализов тонких минеральных взвесей, содержащихся в пробах воды и конденсата (20-28).

1. Сухой остаток после выпаривания вод из грифона 51.
2. Сухой остаток после выпаривания вод проб 8, 9, 11, 13.
3. Сухой остаток после выпаривания вод из грифонов 30, 31.
4. Сухой остаток после выпаривания вод из грифонов 42, 47, 48, 49, 50.
5. Сухой остаток после выпаривания вод проб 75, 76, 77.
6. Сухой остаток после выпаривания вод проб 2, 3 и 74 (74 - из холодного озера в северном кратере).
7. Сухой остаток после выпаривания вод проб 68, 89.
8. Сухой остаток после выпаривания конденсатов пара 4, 34 и 5.
9. Сухой остаток после выпаривания конденсатов пара 1, 2 и 3.
- 10-15. Сульфаты. Образцы соответственно 502, 503, 515, 516, 532 (см. табл. 72).
- 16-19. Нерастворимые остатки после растворения образцов соответственно 515, 516, 517, 532 (см. табл. 72).
20. Серная пена, собранная в грифоне 3.
21. Осадок из воды грифонов 68 и 69.
22. Осадок из воды грифона 51.
23. Осадок из воды грифонов 30 и 31.
24. Осадок из проб воды 42, 47, 48; 49, 50.
25. Осадок из проб воды 2, 3, 74.
26. Осадок из проб воды 75, 76, 77.
27. Осадок из проб воды 8, 9, 11 и 13.
28. Осадок из конденсатов 34, 4 и 56.

При сравнении данных табл. 74 и 76 обращает на себя внимание, что: 1 - в сухих остатках термальных вод и особенно конденсатов сольфатарного пара обнаружен ряд элементов, не обнаруженных в свежих (а большей частью также и измененных) породах вулкана Эбеко. Это следующие элементы: As, Sb, Sn, Mo, Ag; 2 - Zn, As, Sb, Sn, Pb, Ag обнаружены лишь в сухих остатках конденсатов сольфатарных паров и не обнаружены в сухих остатках термальных вод; 3 - концентрация Zn на порядок величины больше в сухих остатках конденсатов сольфатарных паров, чем в сухих остатках термальных вод. Объяснение этому может быть двоякое: либо к этому приводит интенсивное избирательное "выщелачивание" на глубине вмещающих пород, содержащих отмеченные элементы, высокотемпературными кислотными парами, либо основной причиной является

Таблица 76

Данные спектральных анализов искусственных и естественных выпарок термальных вод и конденсатов пара и их минеральных взвесей*

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
As	-	-	-	-	-	-	-	0,0 n	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	0,0 n	-
Mn	0,0 n+	0,0 n+	0,0 n+	0,0 n+	0,0 n	0,0 n	0,0 n-	0,0 n-	0,0 n
Pb	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,0 n-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	0,00 n-	-
Ga	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n-	-	0,00 n+	-	-	0,00 n	-
Mo	-	0,000 n	-	-	-	-	-	0,000 n-	-
V	0,00 n-	0,00 n-	0,0 n-	0,00 n-	0,00 n+	0,00 n-	0,00 n-	0,000 n-	-
Cu	0,00 n-	0,00 n	0,000 n+	0,00 n+	0,00 n	0,00 n	0,00 n-	0,00 n+	0,00 n-
Na	0, n	0, n+	0, n+	0, n+	1%	0, n	0, n+	n	0, n
Zn	-	0, n-	-	0,0 n-	0,0 n-	-	-	n-	0, n
Co	0,00 n-	0,00 n	0,00 n	0,00 n	0,00 n	0,00 n	0,00 n	-	-
Ni	0,00 n-	0,00 n	0,00 n	0,00 n	0,00 n-	0,00 n-	-	0,00 n	-
Ti	0, n-	0,0 n-	0,0 n+	0,0 n	0,0 n	0,0 n-	0,0 n-	0, n	0,0 n
Mg	n-	n-	0, n-	n-	n-	0, n+	n-	n-	0, n
Al	n	n	n	n	n	n	n-	n	n
Fe	n	n-	n-	n-	n-	n-	n-	n	n
Cr	-	0,00 n	0,00 n	0,00 n+	0,00 n	0,00 n	-	0,0 n	0,00 n
Ca	n	n+	1%	n	n+	n	n+	n+	n
Sr	0,0 n-	0,0 n-	0,0 n	0,0 n-	0,0 n-	0,0 n-	0,0 n-	0,0 n+	0,0 n-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	0, n	0, n

*Аналитик Сапожникова А.М.

Таблица 76 (продолжение)

Компо- ненты	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
As	-	-	-	-	-	-	-	0,00 n	-	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	n	-	-
Mn	0, n-	0, n-	0, n-	0, n	0, n+	0,0n	0, n+	0, n+	0, n	0,0 n
Pb	-	-	-	-	-	0,0 n+	0,1	0,0 n+	0,1	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Ga	0,0 n-	0,00 n	0,00 n-	0,00 n	0,00 n-	0,00 n	-	0,00 n	0,00 n+	0,00 n+
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000 n-	0,000 n+
V	0,0 n-	0,00 n+	0,00 n-	0,0 n	0,00 n+	0,00 0 n-	0,000 n	0,00 n+	n-0, n-	0,1
Cu	0,00 n	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n+	0,00 n-	0,00 n	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n
Na	0,0 n	0, n+	0, n	0, n	0, n	0, n+	0, n-	0, n	0, n-	0, n-
Zn	0,0 n-	0,0 n+	0,0 n	-	-	0,0 n	-	-	-	-
Co	0,0 n	0, n	0,0 n+	0,0 n+	0,0 n+	0,0 n-	0, n	-	-	0, n+
Ni	0,00 n-	-	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n	0,0 n	-	-	-	-
Ti	0,00 n	-	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n-	0,00 n-	-	0,00 n	-	0,00 n
Mg	0, n	0,00 n+	-	-	-	-	0,00 n+	0,0 n+	0,0 n	0,0 n
Al	0, n	n	n	n-	n-	n-	0, n	n-	0, n-	0,0 n+
Fe	n	n+	n+	n+	n+	n+	0, n	n-	0, n-	n-
Cr	0,0 n	0,00 n	-	0,00 n-	0,00 n+	0,00 n-	0,0 n	-	0, n-	0,0 n
Ca	0,0 n+	0, n-	0,0 n-	0,0 n+	0,0 n-	0, n-	0, n-	0, n+	0,0 n+	0, n-
Sr	-	0,0 n	-	-	-	-	-	0, n	-	-
Ba	0,00 n+	-	-	-	-	-	0,00 n-	0,0 n-	-	0,0 n-

Таблица 76 (окончание)

Компо- ненты	20	21	22	23	24	25	26	27	28
As	0,0n-	-	-	0,0n-	-	-	-	0,01	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	0,n	-
Mn	0,00n+	0,00n+	0,00n+	0,00n+	0,0n+	0,0n-	0,0n-	0,00n+	0,00n
Pb	0,0n-	-	-	-	0,00n+	0,01	-	0,00n+	-
Sn	0,00n-	-	0,00n-	0,00n-	0,00n-	0,00n-	0,00n-	-	-
Ga	0,000n-	-	0,000n+	0,000n-	0,000n-	0,000n-	-	-	-
Mo	0,0n+	0,000n-	0,00n-	0,00n-	0,00n+	0,00n-	0,00n-	0,000n+	0,000n-
V	0,00n-	0,00n-	0,00n	0,00n	0,00n	0,000n	0,00n	0,00n	0,00-
Cu	-	-	-	-	-	-	0,00n-	0,0n	0,00n
Na	0,n+	0,n-	0,n-	0,1	0,n	0,n+	0,n	0,n-	0,n-
Zn	0,n+	0,n-	0,n	0,n	0,n	0,n	0,n	0,n-	0,n-
Co	0,00n-	0,00n-	-	0,00n-	0,00n-	0,00n-	0	-	-
Ni	-	-	-	-	0,00n-	0,00n-	-	0,00n-	-
Ti	0,0n-	0,0n-	0,0n	0,0n-	0,0n-	0,0n-	0,0n-	0,00n-	0,00n+
Mg	0,n-	0,n-	0,0n+	0,0n+	0,0n	0,n+	0,0n+	0,n-	0,n-
Al	n/n+	n-	n-	0,n+	n-	n	n-	n	0,n
Fe	n-	n-	n-	n-	n	n	n-	n-	0,n
Cr	0,00n-	-	0,00n-	0,00n-	-	0,00n	-	-	-
Ca	0,n-	0,0n+	0,0n+	0,0n+	0,0n+	0,n	0,1	0,n-	0,n-
Sr	0,0n-	-	0,0n-	-	-	0,0n-	-	-	-
Ba	0,n-	0,0n-	0,0n+	0,0n-	0,0n-	0,0n-	0,0n	-	0,00n+

непосредственное отделение от магмы летучих соединений металлов (хлоридов?). Естественно, что в термальных источниках конденсаты паров находятся в сильно разбавленном виде.

Как мы выше отметили, по данным Л.В. Сурниной (1959), в каждом литре сольфатарного пара - газа содержится в среднем 7,6 г конденсата, а общий дебит сольфатарных паров вулкана, по А.С. Нехорошеву (1960), составляет 66×10^6 литров пара в час. За час на вулкане Эбеко выносятся в виде сольфатарного пара 500 т воды. Принимая среднее значение содержания сухого остатка в конденсате за 2 г/л (по данным В.В. Иванова и нашим наблюдениям, оно колеблется от 14 г/л до десятых долей грамма на литр) и беря среднее значение содержания микрокомпонентов, по 3 конденсатам (табл. 70, колонка 8), мы можем ориентировочно подсчитать количества микрокомпонентов, выносимых сольфатарными парами вулкана Эбеко.

Микроэлементы, выносимые сольфатарными парами вулкана Эбеко выносятся (дается порядок величины) (табл. 77).

С сольфатарных полей в Эбеко поверхностными термальными водами выносятся в растворенном виде несравненно меньшие количества микрокомпонентов (табл. 78) (использованы данные табл. 76, колонки 5 и 2).

Несомненно, что термальные воды вулкана Эбеко более глубокой циркуляции переносят в растворе за равные промежутки времени несравненно большее количество растворенных компонентов, чем рассмотренные поверхностные.

Судьба химических компонентов термальных источников складывается по-разному. Часть из них в конечном счете выносятся в море и либо выпадает в осадок на морском дне, либо концентрируется в морской воде. Но в море попадает только часть компонентов, выносимых термальными водами вулкана. Другая часть, очевидно, может осаждаться и выпадать из раствора в верхних слоях земли в результате изменения их температуры, концентрации, кислотности и, по-видимому, в особенности в результате взаимодействия раствора

Таблица 77

Компоненты	За 1 час в кг	За 4 сут-ток в кг	За 12 лет в т	Компоненты	За 1 час в кг	За 4 сут-ток в кг	За 12 лет в т
As.	0, n	n × 10	n × 10	Zn	- n × 10	- n × 10 ³	- n × 10 ³
Sb	0, n	n × 10	n × 10	Ti	n	n × 10 ²	n × 10 ²
Mn	0, n	- n10	- n×10	Ni	0,0 n	n	n
Pb	1	10 ²	10 ²	Mg	n × 10	- n × 10 ³	- n × 10 ³
Sn	-0,0 n	- n	- n	Al	n × 10	n × 10 ³	n × 10 ³
Ga	0,0 n	n	n	Fe	- n × 10	- n × 10 ³	10 ³
Mo	0,00 n	-0, n	-0, n	Cr	0,00 n	n	n
V	0,00 n	-0, n	-0, n	Ca	n × 10	+ n × 10 ³	n × 10 ³
Cu	+0,0 n	+ n	+ n	Sr	0, n	n × 10	n × 10
Na	n × 10	n × 10 ³	n × 10 ³	Ba	n	n × 10 ²	n × 10 ²

Таблица 78

Вынос микрокомпонентов термальными водами вулкана Эбеко

Компоненты	Ручей Легерный с восточных сольфатарных полей*			Ручей с западного сольфатарного поля**		
	За 1 час в г	За 4 суток в г	За 12 лет в г и кг	За 1 час в г	За 4 суток в г	За 12 лет в кг
Mo	-	-	-	-0,0п	-п	$(-п) \times 10$
Cu	$3,0,п$	$3п \times 10$	$3п \times 10^4 = 3п \times 10$	0,п	$п \times 10$	$п \times 10^4 = п + 10$
Na	300	3×10^4	$3 \times 10^7 = 3 \times 10$	$(+п) \times 10$	$(+п) \times 10^3$	$п \times 10^6$ $п \times 10^3$
Zn	$3(-п)$	$3 \times (-п) \times 10^3$	$3 \times (п) \times 10^5 = 3 \times (-п) 10^2$	$(-п) \times 10^3$	$(-п) \times 10^3$	$(-п) \times 10^6 = (п) \times 10^3$
Ti	$3(-п)$	$3(-п) \times 10^2$	$3 \times (-п) 10^5 = 3(-п) \times 10^2$	п	$(-п) \times 10^2$	$(-п) \times 10^5 = (п) \times 10^2$
Co	$3 \times 0,п$	$3п \times 10$	$3п \times 10$	0,п	$п \times 10$	$п \times 10$
Ni		$3 \times (-0,п)$	$3 \times (-п)$	$3 \times (-0,п) \times 10$	0,п	$0,10п, 10$
Mg	$3п \times 10^4$	$3п \times 10^4$	$(-п) \times 10^2$	$(-п) \times 10^4$	$(-п) \times 10^4$	$(-п) \times 10^4$
Al	$3п \times 10^2$	$3п \times 10^4$	$3п - 10^4$	$п \times 10^2$	$п \times 10^4$	$п \times 10^4$
Fe	$3 \times (-п) \times 10^2$	$3(-п) \times 10^4$	$(-п) \times 10^4$	$(-п) \times 10^2$	$(-п) \times 10^4$	$(-п) \times 10$
Cr	$3 \times 0,п$	3п	$3 \times п \times 10$	0,п	0,10	$п \times 10$
Ca	$3(+п) \times 10^2$	$3 \times (+п) \times 10^4$	$3(+п) \times 10^4$	$(+п) \times 10^2$	$(+п) \times 10^4$	$(+п) \times 10$

* Дебит 15 л/сек. Сухой остаток 0,6 г/л.

** Дебит 5 л/сек. Сухой остаток 0,6 г/л.

с восходящими потоками сероводорода. Нетрудно представить себе "фронт" встречи" нисходящих растворов сульфатных солей с восходящим потоком сероводорода, где будут осаждаться и постепенно накапливаться сульфиды железа и других металлов. Такая концентрация может, очевидно, с течением времени привести к значительным скоплениям рудных компонентов в отдельных местах на путях циркуляции термальных вод. При этом надо учитывать, что сольфатарная деятельность может протекать многие сотни лет, периодически затухая и возобновляясь, а пути циркуляции термальных растворов, зависящие от структурных факторов, остаются практически постоянными в течение многих тысяч лет.

Мы остановились лишь на отдельных примерах геохимической работы Курильских гидротерм, но они хорошо иллюстрируют ее масштабы.

СОДЕРЖАНИЕ РАДОНА В ФУМАРОЛЬНЫХ ГАЗАХ

Измерение концентрации радона в фумарольных газах нескольких вулканов Курильских островов было произведено А.М.Чирковым в 1970 г., точки опробования показаны на рис. 23. Результаты приведены в табл. 79.

Таблица 79

Концентрация радона и химический состав фумарольных газов действующих вулканов Курильских островов

Дата опробования	Температура, °С	Радон 10-10 кюри л	Измерено			Исправлено за разбавление воздухом		
			Состав газа (об.%)*			Состав газа		
			O ₂	Сумма кислотных	N ₂ + ред.	Радон 10-10 кюри л	Сумма кислотных	N ₂ + ред.
Берг								
VIII 70	80	5	16,7	15,5	67,8	22	75,8	24,2
Черного								
VIII 70	90	23	11,1	32,6	56,3	48	69,2	30,8
Сноу								
VIII 70	97	11	14,8	21,7	64,5	37	70,0	30,0
Кетой								
IX 70	99	15	0,5	96,0	3,5	16	98,2	1,8
Кунтоминтај								
IX 70	99	55	1,0	93,2	5,8	58	98,0	2,0
Чиринкотан								
IX 70	98	4	0,6	94,3	4,6	5	97,8	2,2

*Аналитики: Т.Г.Алексеева, Л.А.Башарина.

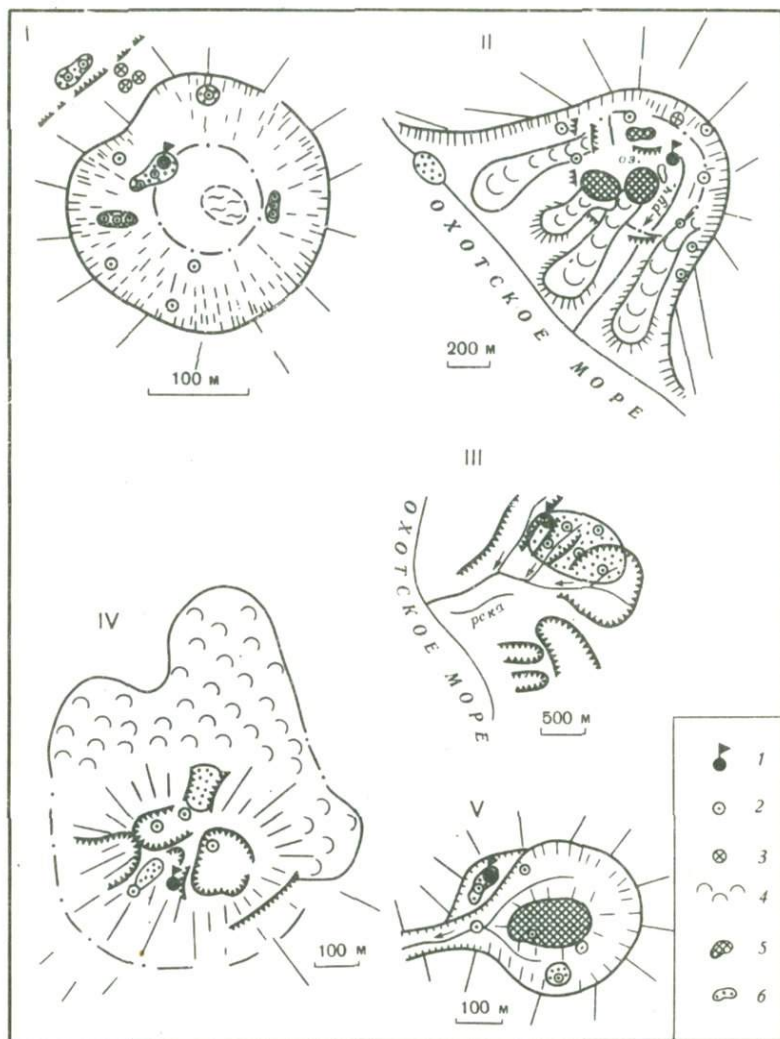


Рис. 23. Местоположение фумарол, опробованных на радон, на схемах кратеров Курильских островов (схемы кратеров даны по состоянию на июль-сентябрь 1970 г.) по А.М. Чиркову

I - вулкан Черный, II - вулкан Чиринкоган, III - вулкан Кегой, IV - вулкан Берга, V - вулкан Кунтоминтар. 1 - фумарольные газы, опробованные на радон; 2 - фумаролы; 3 - скалы; 4 - лавовые потоки, не перекрытые пирокластикой; 5 - поля распространения возгонов; 6 - выходы пара

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ И МИКРООРГАНИЗМЫ В ГИДРОТЕРМАХ

ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ

Высокая температура и химический состав вод горячих источников возможно моделируют условия возникновения и развития предбиологических систем и простейших форм жизни на Земле. Поэтому определение органических соединений и микроорганизмов, существующих в экстремальных условиях гидротерм, имеет чрезвычайно большой интерес.

Так, например, обнаружены цианистые соединения в гидротермах кальдеры Узон (Камчатка) и, по предварительным данным, в гидротермах Кипящего озера кальдеры Головина.

В.И. Калиниченко из группы Л.М. Мухина были проведены анализы ряда проб горячей воды источников на аминокислоты. Результаты сводятся к следующему:

1. Северо-западное сольфатарное поле вулкана Менделеева. Нижняя сольфатара, $T = 108^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 5,0$. Консенсат пара.

Цистин

Саркозин - суммарно около 1 мг/л

Серин

2. Там же. Конденсат, вторая проба.

Цистин

Валин - суммарно около 1 мг/л

3. Северо-западное сольфатарное поле. Крайний правый распадок. Щелочный источник.

$T = 70^{\circ}\text{C}$

Пролин

Аспарагин

Аланин - суммарно 0,1 мг/л

Порвалин

4. Подножье вулкана Менделеева. Сквжина на термальную воду 12а.

Глубина 140 м, $T = 167^{\circ}\text{C}$

Цистин

Оксипролин - суммарно 0,4 мг/л

Серин-глицин

5. Подножье вулкана Менделеева. Сквжина на термальную воду 9. На выходе $T > 100^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 8,2$.

Цистин около 0,1 мг/л

6. Там же глубина 400 м, $\text{pH} = 6,62$.

Аргинин

Цистин - суммарно 0,1 - 1 мг/л

Серин

7. Подножье вулкана Менделеева. Скважина на термальную воду 8а.

Глубина 490 м, рН = 7,64

Аспарагин или серин

Треонин

Аланин - суммарно около 0,9 мг/л

Порвалин

8. Подножье вулкана Менделеева. Докторский источник.

T = 79°, рН = 2

Аргинин

Серин

Треонин - суммарно 2 мг/л

9. Кальдера Головнина. Кипящее озеро

Источник "Зеленый" (14)

T = 70-76°C, рН = 8 - 8,5

Аргинин

Серин

Треонин - суммарно до 1,0 мг/л

10. Там же. Источник 5.

T = 95°, рН = 2.

Следы аминокислот

Обнаруженные аминокислоты могут иметь как биогенное, так и абиогенное происхождение. Проблема заслуживает изучения.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИИ ГИДРОТЕРМ

В ходе эксгаляции в составе газа пароводяных смесей выносятся из глубин Земли вещества, являющиеся субстратами, на которых действуют микроорганизмы. Они встречаются на сольфатарах, в гидротермах, в грязевых котлах, в гейзерах, где они участвуют в геохимических процессах превращения химических соединений (Кузнецов, 1955, Иванов, Каравайко, 1966, Заварзин с соавт., 1967, Brock, 1967, Ehrlich, Schow, 1967 и др.).

Присутствие организмов в горячих источниках было отмечено еще в древности, в частности об этом упоминается Плинием в его книге "Естественная история", написанная в первом столетии н.э.

В литературном обзоре работы Эмото (Emoto, 1933) приводятся некоторые виды водорослей и бактерий, выделенных из горячих источников Японии.

Впервые изучив микрофлору горячих ключей Камчатки, С.И. Кузнецов (1955) пришел к выводу о возможности развития микроорганизмов при температуре 90-95°C.

Результаты наших исследований, проведенных на горячих источниках вулканов о-вов Кунашир и Итуруд, так же как работы Брока с соавторами в США (Brock, 1967; Boll, Brock, 1969г; Brock, Dargland, 1970г) показывают, что многие микроорганизмы способны размножаться в гидротермах при температуре, верхний предел которой равняется точке кипения воды. Так из 76 обследованных нами

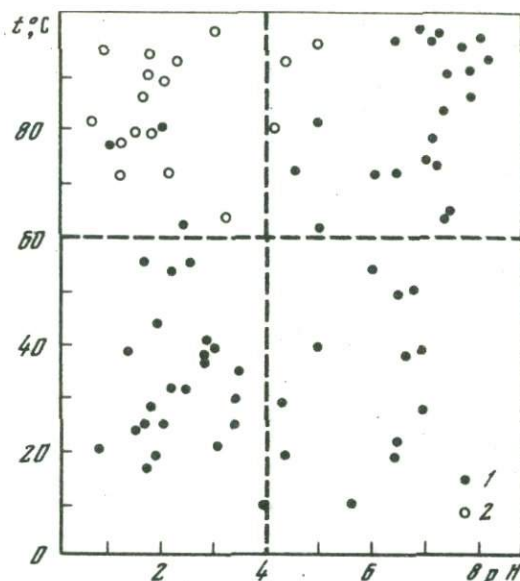


Рис. 24. Распределение "стерильных" и "нестерильных" источников в зависимости от pH и $T^{\circ}\text{C}$

1 - источники, в которых обнаружены микроорганизмы, 2 - "стерильные" источники

источников бактерии обнаружены в 59 источниках, почти половина из которых обладает высокой температурой (выше 60° , табл. 80, рис. 24). Ни методом стекол обрастания и ни применением мембранных фильтров микробы не были отмечены в 17 источниках, температура воды которых выше 60° . 14 источников из последних являются кислотными. Следовательно, большинство гидротерм, в которых отсутствуют микроорганизмы, характеризуются высокой температурой и кислотностью. Таким образом, с повышением кислотности верхний предел температуры существования микроорганизмов понижается. Ве-

Таблица 80

$T^{\circ}\text{C}$	pH	Микробы отсутствуют		Микробы присутствуют	
		Количество источников	%	Количество источников	%
	< 4	0	0	23	30,3
< 60	> 4	0	0	12	15,8
Всего		0	0	35	46,1
> 60	< 4	14	18,5	3	3,9
	> 4	3	3,9	21	27,6
Всего		17	22,4	24	31,5
Сумма		17	22,4	59	77,6

Таблица 81

Скорость размножения в термальных источниках

Место определения	Точки	Продолжительность экспозиции	T °C	pH	Время генерации, час
Горячий пляж	a ₂	24	65	3,0	2,3
	a ₄	24	65	3,0	3,8
	b ₃	24	50	2,2	5,3
Докторский источник	H ₁	24	83	2,0	4,0
	H ₂	24	83	2,0	2,7
Северо-западное сульфатное поле вулк. Менделеева	2	18	79	1,8	3,3
	5	18	51	2,5	1,6
	6	18	65	1,7	4,8
Кипящее озеро вулкана Головинина	K ₄	12	88	1,8	9,2
	K ₅	12	76	2,2	8,1
	K ₁₀	12	95	6,5	6,9

роятно, кислая реакция воды усиливает экстремальное воздействие термальных факторов на рост и развитие микроорганизмов.

Об отрицательном влиянии большой кислотности воды при высокой температуре на развитие бактерий в гидротермах свидетельствует значимая положительная величина коэффициента взаимной сопряженности, показывающего степень соответствия параметров различных факторов преимущественному появлению или не появлению события ($K = +0,574$, $\chi^2 = 43,3 > \chi^2_{0,01} = 16,3$).

Процесс размножения у термофильных бактерий подчиняется закону Вант-Гоффа и находится в прямой зависимости от температуры (Имшенецкий, 1944; Thimann, 1964). Время генерации у некоторых термофильных организмов при температуре 42–68° равно 12–13 мин (Nahsen, 1933; Neilson et al., 1959).

По данным Ботта и Брока (Bott, Brock, 1969), в щелочных термальных источниках скорость роста бактерий колеблется в пределах от 2 до 7 часов на одну генерацию. А в источниках с температурой воды выше 60° скорость размножения круто падает и не подчиняется уравнению Аррениуса.

Согласно нашим определениям, проведенным по методу Крисса и Рукиной (1952), время генерации бактерий в кислых высокотермальных источниках достигает иногда до 9,2 часа (табл. 81). При более низкой температуре скорость размножения значительно возрастает. Следовательно, высокая кислотность воды при высокой температуре также неблагоприятно действует на темп роста клеток организмов. В слабокислых или нейтральных источниках с несколько пониженной температурой скорость размножения подчиняется закону Вант-Гоффа.

Относительно низкая скорость роста бактерий в экстремальных условиях и несоответствие ее уравнению Аррениуса объясняются не-

прерывным термальным разрушением чувствительных молекул цитоплазмы и мобилизацией энергии на их ресинтез для обеспечения других жизненных процессов (Brock, 1967).

О возрастании скорости роста бактерий при понижении температуры воды свидетельствует различие в темпе размножения и продукции массы одного и того же вида бактерий, развивающихся при различном температурном режиме. Так, в Пограничном и Столбчатом источниках (о. Кунашир) все русло покрыто толстым слоем белых нитчатых образований, представляющих собой бактериальные зооглеи *Thiospirillum pistiense*, описанного впервые Чурдой (Czurda, 1935), а затем С.И. Кузнецовым (1955). Позже этот микроорганизм был обнаружен в США Брокком и описан под названием *Thermus aquaticus* (Brock et al., 1971).

Микробиологическую массу определяли методом стекол обрастания путем измерения длины нитей по Олсону (Vott, Brock, 1970) и перемножения ее на толщину клеток, равную приблизительно 1 мк, с последующим пересчетом объема всей массы сначала на одно поле зрения, а затем на всю площадь предметного стекла.

Из данных табл. 82 следует, что за 24 часа в Пограничном источнике накопилось $0,14 \times 10^9 \mu\text{к}^3$ или около 0,14 мг массы при удельном весе микробов, равном предположительно 1 г/см^3 . В Столбчатом источнике, где температура воды значительно выше, чем в Пограничном, продукция биомассы составляет всего 0,06 мг.

Микроорганизмы горячих источников являются реликтом примордиальных организмов. Об этом свидетельствуют fossilizированные микроорганизмы, сходные с современными формами *Flexibacteria*, обнаруженные в гидротермальных отложениях нижней трети среднего докембрия в Ванфлинте (Varghoom, Tayler, 1965), а также обильное развитие бактериальных микроструктур у многих кремнисто-железистых сланцев и железных руд докембрийских времен (Володкин, 1963). Большую роль бактерий и синезеленых водорослей в возникновении первых докембрийских месторождений предполагает Шварц (Schwartz, 1972 г).

Наиболее древними микроорганизмами считают анаэробные автотрофы, способные в бескислородных условиях довольствоваться лишь

Таблица 82

Скорость размножения и продукции биологической массы

Источ-ник	Время экспозиции стекол, час	t°C	pH	Количество точек перенесения сетки (длина сетки 5,9 мк/п)	Длина нити в 1 поле зрения $[1,3 \cdot 10^4 \mu\text{к}] \times 1^*$	Биологическая масса, в $\mu\text{к}^3$	
						На 1 поле зрения	На 1 предметное стекло (26 × 76 мм)
Пограничный	24	55	6,5	261	1201	944	$0,14 \cdot 10^9$
Столбчатый	24	72	6,8	106	492	387	$0,06 \cdot 10^9$

* $1 = 5,9 \mu\text{к} \cdot \pi \cdot \frac{\pi}{4}$.

углекислотой и перерабатываемыми им минеральными веществами магматических пород (Вологдин, 1963).

По мере понижения температуры окружающей среды в результате мутации и селекции появились организмы, в том числе фотосинтезирующие бактерии и водоросли, которые сохранились до сих пор столь обильно во многих горячих источниках. Позже возникли более организованные микроорганизмы, имеющие относительно большой набор ферментативных систем. По данным Брока (Brock, 1967), максимальная температура, при которой развиваются фотосинтезирующие организмы, равняется $73-75^{\circ}$. Для более высокоорганизованных водорослей и грибов верхняя граница температуры значительно ниже — $56-60^{\circ}$.

Интересно отметить, что наряду с широким распространением микроорганизмов, участвующих в превращении элементов, имеющих переменную валентность, в горячих источниках обильно присутствуют бактерии, способные фиксировать азот из атмосферы. Иногда они обнаруживаются в гидротермах в экстремальных условиях при температуре 98° и $\text{pH} = 0,8$. Возможно эти микроорганизмы ассимилируют не только азот воздуха, но и азотистые соединения, выделяющиеся в результате эксгаляции. Благодаря этим организмам происходит обогащение магматических пород, илов, осадков гидротерм азотом. Последние в результате выветривания и биохимического превращения в дальнейшем вовлекаются в процесс первичного почвообразования.

Таким образом, вулканизм оказывал большое влияние на эволюцию и распространение микроскопических организмов, которые и в настоящее время играют большую роль в поствулканическом процессе. Они участвовали в преобразовании изверженных пород и продуктов эксгаляции, формировании тех субстратов, на которых в дальнейшем шло развитие всего органического мира.

ОБ УЧАСТИИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОСАЖДЕНИИ СЕРЫ В ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ

Около устьев и в русле на дне термальных источников из нагретой воды обычно с опалом, алунитом и мельниковитом осаждается тонкий дисперсный или аморфной (коллоидальной) серы желто-серого цвета, получивший название сульфурита.

В литературе почти отсутствуют сведения относительно механизма формирования сульфурита. С.И. Набоко (1959) объясняет осаждение серы в гидротермах окислением сероводорода и коагуляцией серы из образующихся коллоидных растворов при выходе воды на поверхность. О.Г. Борисов и Г.М. Власов (1971) указывают на образование большого количества серного осадка в местах быстрого охлаждения и окисления вод источников, например, у соединения их с потоком холодной неминерализованной воды. На основании наблюдений, проведенных М.В. Ивановым, они отмечают роль химического окисления в образовании серы.

Между тем С.И. Кузнецов (1955) обнаружил бактериальные зооглеи в белых образованиях, которыми покрыты все русла ручьев многих источников Камчатки.

Наши наблюдения, проведенные с помощью стекол обрастания и щелевых пелоскопов Перфильева и Габе в горячих источниках о. Кунашир, показывают весьма пышное развитие микроорганизмов во всех серных осадках. Микрофлора в них представлена самыми разнообразными видами, и качественный состав определяется типами источников.

Микрофлора кислых гидротерм построек вулканов однообразна и состоит в основном из тионовых бактерий, вырастающих на средах Ваксмана или Эмото. В некоторых случаях палочки тионовых бактерий замаскированы кристалликами серы и они трудно обнаруживаются. Растворяя серные кристаллы сероуглеродом, можно убедиться в обилии бактерий, окружающих серные частицы. В обрастаниях иногда хорошо заметны свежие следы растворения серы, возле которых располагаются микробы, что свидетельствует о роли этих палочек в разрушении кристалликов.

Нередко серный осадок имеет зеленовато-серую окраску вследствие обилия диатомовых водорослей среди тионовых бактерий.

Микроорганизмы, окисляющие сероводород до молекулярной серы, в источниках сульфатного или сульфатно-хлоридного типа почти отсутствуют. Исключение составляют зеленые бактерии, принадлежащие в основном роду *Chlorobium*. Следовательно, серный осадок в источниках первого типа (в частности, сольфатарных полей и склонов вулкана Менделеева) можно рассматривать как химическое образование, а присутствующие в нем микроорганизмы участвуют в дальнейшем окислении соединений серы. При этом происходит значительное снижение pH за счет образования серной кислоты.

Микрофлора близонейтральных и слабощелочных натриево-хлоридных горячих источников более разнообразна и представлена в основном серными бактериями, нитевидные волокна которых покрывают белым налетом все русла большинства выходов.

В Столбовском источнике ($T=64^{\circ}$, $pH=6,8$) в образовании осадка участвуют бактерии *Thiospirillum pistiense* (рис. 1, д), которые были отмечены С.И. Кузнецовым (1955) в Озерновских источниках Камчатки, а также Брокком и Фризом (1969) в США под названием *Thermus aquaticus*. В густом войлоке сульфурита присутствуют другие представители нитчатых бактерий, верхняя часть которых сегментирована по 4–5 μ к длиной. Клетки имеют постоянную ширину – 1 μ к. Согласно определителям бактерий (Красильников, 1949, Breed et al., 1957), они относятся к *Thiothrix tenuis*. Изредка встречаются более тонкие нити, близкие к виду *Thiothrix tenuissimus*.

В Пограничном источнике пос. Алехино в осадении серы принимают участие также *Thiospirillum pistiense*. В большом Алехинском источнике ($T=60^{\circ}$, $pH=7,0$) обнаружены *Thiobacillus thioparus* и большие палочки, слегка искривленные, 1–1,5 \times 5–10 μ к в размере, содержащие капельки серы и зерна валютина внутри клетки и, вероятно, принадлежащие роду *Thiospira*.

На пластинке пелоскопа, погруженной в черный ил недалеко от многих выходов воды Алехинских источников, описанных А.С. Хоментовским (1964), часто отмечается обильный зеленый налет в виде пластинчатых агрегатов. При микроскопировании установлено, что

они состоят из синезеленых водорослей родов *Anabaena* и *Nostoc*, а также из палочковидных бактерий размером $1-1,5 \times 3-4$ $\mu\text{к}$, расположенных параллельными рядами в виде цепочек. Клетки последних сильно вакуолизированы и не содержат серных зерен. Сера накапливается вне бактериальных клеток под зеленым налетом образований. На основе морфологических признаков эти бактерии можно отнести к роду *Pelodyction*.

Серный осадок желто-серого цвета, состоящий из длинных волокон, встречается у выхода горячей воды ($T=70^{\circ}$, $\text{pH} = 7,1$) на северном берегу оз. Горячего вулкана Головинна. Осадок слизистый и представляет собой скопление нитчатых бактерий, среди которых доминируют клетки, близкие к *Beggiatoa leptomitiformis*. Серное отложение в этих местах довольно мощное и занимает большую площадь. Биохимический анализ образцов, отобранных из нижних слоев серного отложения, показывает присутствие довольно большого количества не только азота и углерода, но и белков. Содержание последних, определенное методом осаждения белковых веществ основной солью сернистой меди и отделения их от других азотистых соединений с последующим анализом азота в осадке по Кьельдалю, составляет более 0,1% от сухого веса. В спиртовых экстрактах и солянокислых гидролизатах методом бумажной хроматографии (6) обнаружен большой набор аминокислот, что подтверждает биологическую природу этого геологического образования.

Вниз по течению русла pH воды постепенно снижается и доходит до 2. В осадке присутствуют бактерии *Thiobacillus thiooxidans*, благодаря жизнедеятельности которых происходит подкисление воды и разрушение серных отложений.

Осаждение серы в горячих источниках второго типа происходит обычно у самого выхода, а в нижнем течении, несмотря на смешивание с холодной водой, сероводород не окисляется. В лабораторных условиях при хранении воды, пропущенной через бактериальный фильтр, не наблюдается какого-либо осаждения серных частиц. В присутствии бактерий в водных пробах постепенно снижается концентрация сероводорода с образованием серного осадка.

Таким образом, серные отложения в близнезотральных гидротермах в отличие от сульфурита кислых источников следует рассматривать как биогенное образование.

ЗАВИСИМОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ОТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И ХИМИЗМ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПОДНОЖИЯ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА В 1965-1966 ГГ.

Режимные наблюдения за параметрами ряда источников Горячего Пляжа и подножия вулкана Менделеева, проводившиеся СахГУ в связи с разведкой месторождения природной термальной воды и пара, с одной стороны, и многолетние записи землетрясений на располо-

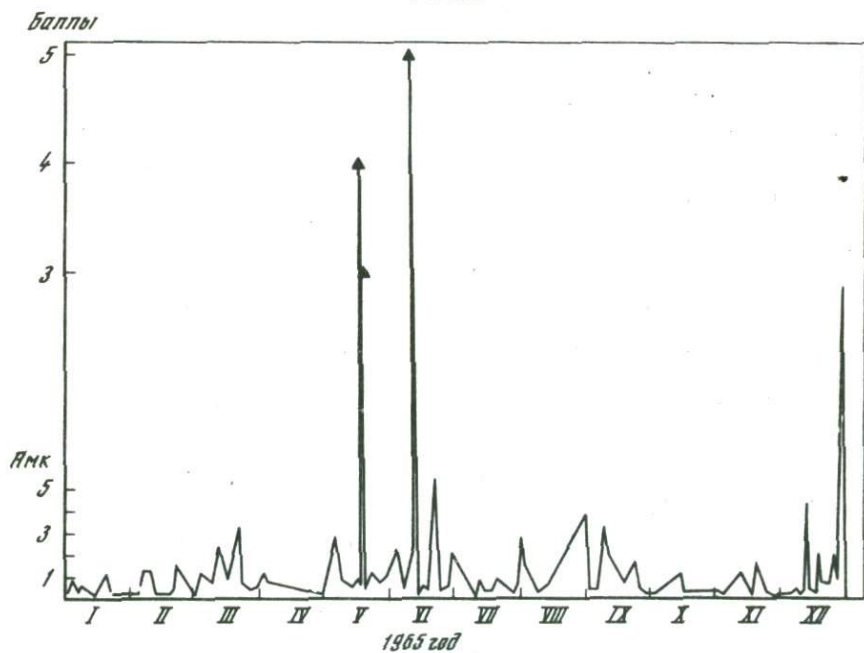
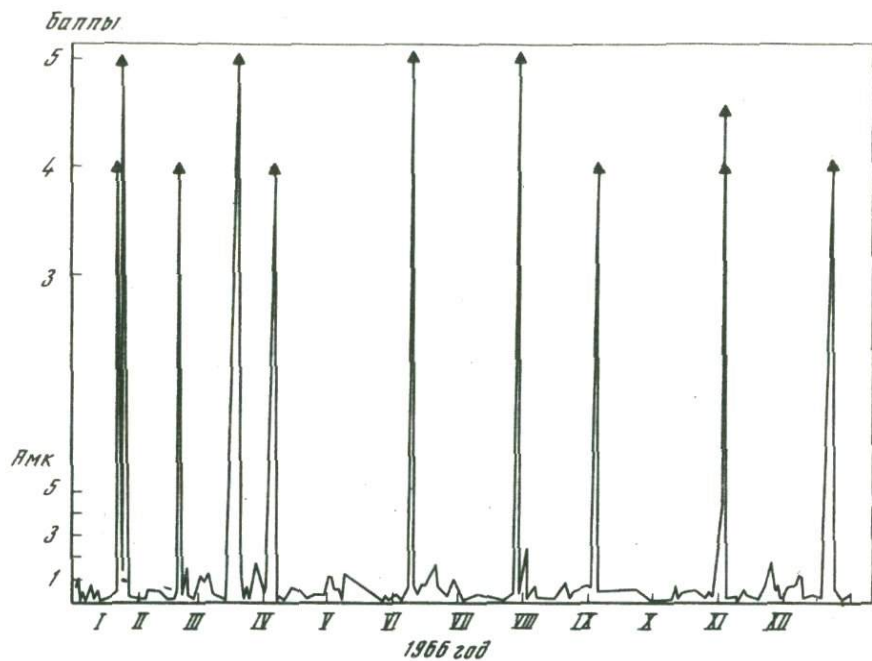
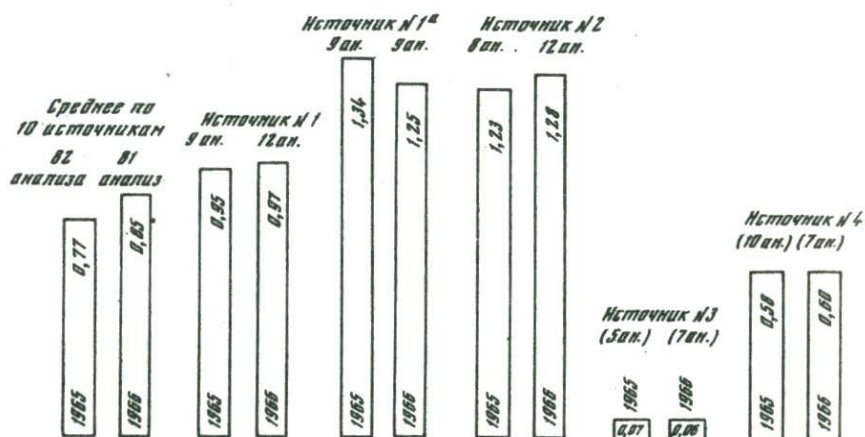


Рис. 25. Сейсмическая обстановка на острове Кунашир в 1965-1966 годах

Рис. 26. Среднегодовые содержания Cl^- в г/л в источниках Горячего Пляжа и вулкана Менделеева



женной поблизости (приблизительно в 10 км) Южно-Курильской сейсмостанции (СахКНИИ) – с другой – послужили для нас первыми материалами для выявления возможных корреляций между сейсмической активностью и химизмом гидротерм. Режимные наблюдения включали ежемесячный отбор проб воды и их более или менее пол-

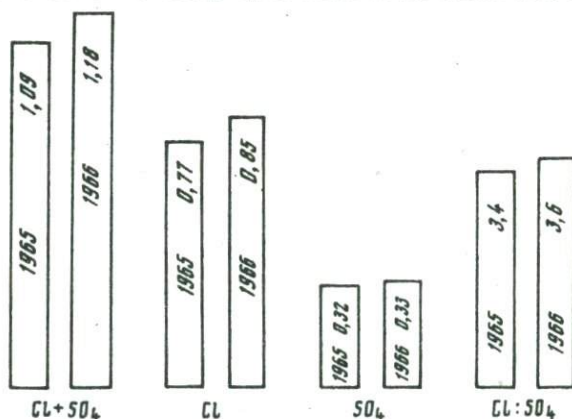
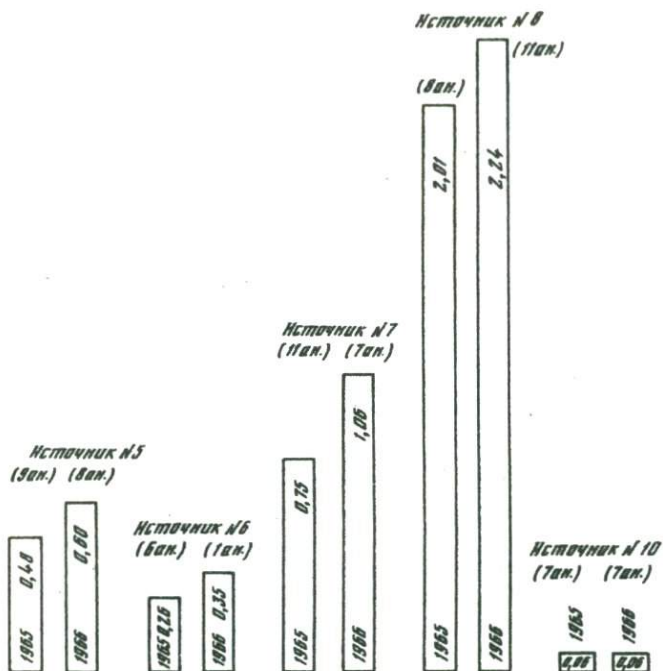


Рис. 27. Среднегодовые содержания в г/л $Cl^- + SO_4^{2-}$ в источниках Горячего Пляжа и вулкана Менделеева (за 1965 г. – 82 анализа, за 1966 г. – 81 анализ)



ные стандартные анализы. Систематически они проводились в течение 1965 и 1966 гг.

Сейсмическая обстановка на о. Кунашир в 1965 и в 1966 гг. отражена на рис. 25. Первое, что сразу же обращает на себя внимание, что 1966 г. относительно 1965 г. был годом повышенной

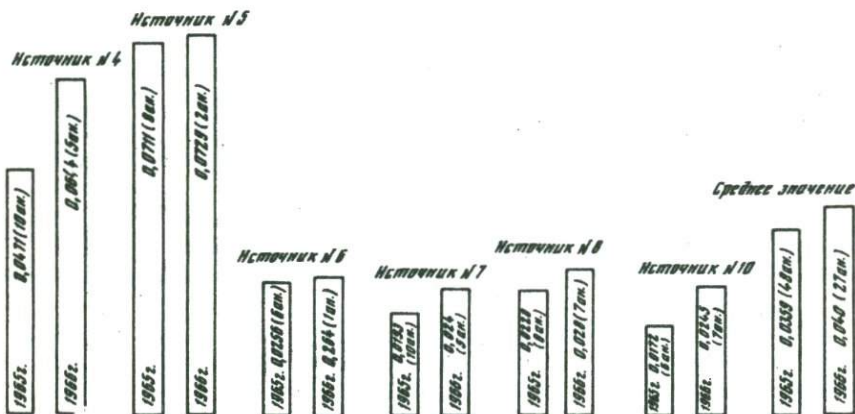


Рис. 28. Сравнение содержания свободной углекислоты в г/л в 1965 и 1966 гг. в источниках Горячего Пляжа и вулкана Менделеева

Таблица 83

Сравнение содержания свободной углекислоты в г/л в 1965 и в 1966 гг.

Источник	1965 (среднее значение)	1966 (среднее значение)	Источник	1965 (среднее значение)	1966 (среднее значение)
4	0,0471 (10 ан.)	0,0644 (5 ан.)	8	0,0220 (8 ан.)	0,028 (7 ан.)
5	0,0711 (8 ан.)	0,0729 (2 ан.)	10	0,0172 (6 ан.)	0,0245 (7 ан.)
6	0,0256 (6 ан.)	0,0264 (1 ан.)	Среднее значение)	0,0359 (48 ан.)	0,040 (27 ан.)
7	0,0193 (10 ан.)	0,024 (5 ан.)			

сейсмической активности. В 1965 г. произошло 3 "балльных" землетрясения: 18 и 19 мая и 11 июня. Их общая суммарная "балльность" составила 12. В 1966 г. "балльные" землетрясения происходили 12 раз: 2, 23 января; 19, 22 февраля; 19 марта; 5 апреля; 9 июня; 29 июля; 3 сентября; 1-2 ноября и 22 декабря. А их общая суммарная "балльность" достигла 52. Другими словами, сейсмическая активность на о. Кунашир в 1966 г. была выше, чем в 1965 г., в четыре-пять раз. Нашел ли этот факт отражение в химизме гидротерм?

Мы располагали 82 анализами воды из десяти источников за 1965 г. и 81 анализом воды тех же источников за 1966 г. Сравнение анализов показало следующее. Среднее содержание Cl^- в г/л в 1966 г. оказалось больше, чем в 1965 г. на 0,08 г/л, или на 10% (рис. 26). Среднее содержание SO_4^{--} в г/л в 1966 г. было больше, чем в 1965 г., на 0,01 г/л, или на 3% (рис. 27).

Сумма $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--}$ отличалась в 1966 г. на 0,09 г/л, или приблизительно на 10%, а отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{--}$ на 0,2, или примерно на 5% (рис. 27). Представляет интерес разница в содержании свободной углекислоты в шести источниках, в которых она определялась. В 1965 г. в среднем она составляла 0,036 г/л, а в 1966 г. 0,040, или на 11% больше (табл. 83, рис. 28).

Логично предположить, что увеличение содержания Cl^- , SO_4^{--} и CO_2 в термальных водах района вулкана Менделеева в 1966 г. по сравнению с 1965 г. причинно связано с повышением сейсмической активности.

Интересно поведение свободной углекислоты в источниках в 1965 г. На фоне общей слабой активности землетрясения силой приблизительно по 4 балла произошли в мае-июне. В остальные месяцы "балльных" землетрясений не происходило. При этом повышенные содержания свободной углекислоты отмечены большей частью в течение апреля - месяца, предшествовавшего двум месяцам с землетрясениями, мае-июне, когда имели место землетрясе-

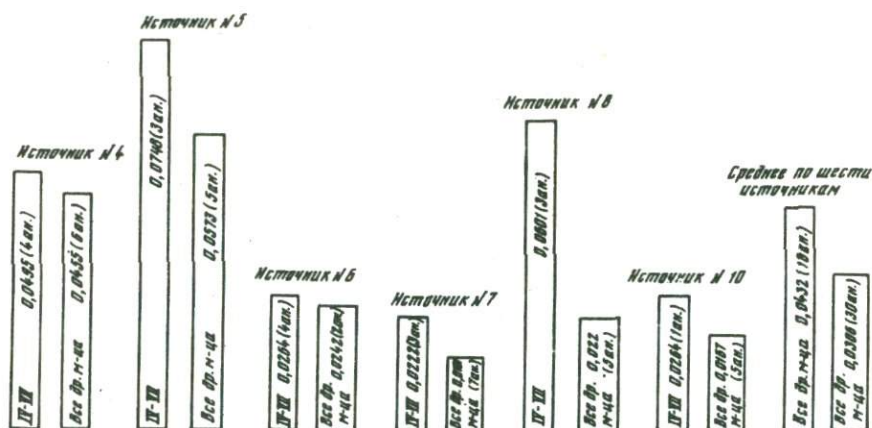


Рис. 29. Средние значения содержаний свободной углекислоты в г/л в 1965 г.

ния, и в июле – в течение месяца после землетрясений. Средние значения свободной углекислоты в апреле – июле 1965 г. в шести источниках приведены в табл. 84 (рис. 29). Для сравнения даны также средние величины за все остальные месяцы. Среднее значение по всем шести источникам за апрель – июль составляет 0,0432 г/л, а за все остальные месяцы 0,0306 г/л, т.е. заметно меньше. Повышенные значения содержания в воде горячих источников свободной углекислоты в период апреля – июля мы причинно связываем с землетрясениями.

Было проанализировано отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ в эквивалент-процентах в связи с землетрясениями мая – июня 1965 г. Полученные результаты изображены на рис. 30.

Происшедшие землетрясения, по-видимому, вызвали в общем уменьшение этого отношения. Но в одних случаях (источники 7 и 5)

Таблица 84

Содержание свободной углекислоты в г/л в 1965 г.

Источники	Месяца IV-VII (среднее значение)	Все другие месяцы (сред- нее значение)	Источники	Месяца IV-VII (среднее значе- ние)	Все другие месяцы (сред- нее значение)
4	0,0495 (4 ан.)	0,0455 (6 ан.)	8	0,0601 (3 ан.)	0,022 (5 ан.)
5	0,0748 (3 ан.)	0,0573 (5 ан.)	10	0,0264 (1 ан.)	0,0167 (5 ан.)
6	0,0264 (4 ан.)	0,0242 (2 ан.)	Среднее по шести ис- точникам	0,0432 (18 ан.)	0,0306 (30 ан.)
7	0,0222 (3 ан.)	0,0181 (7 ан.)			

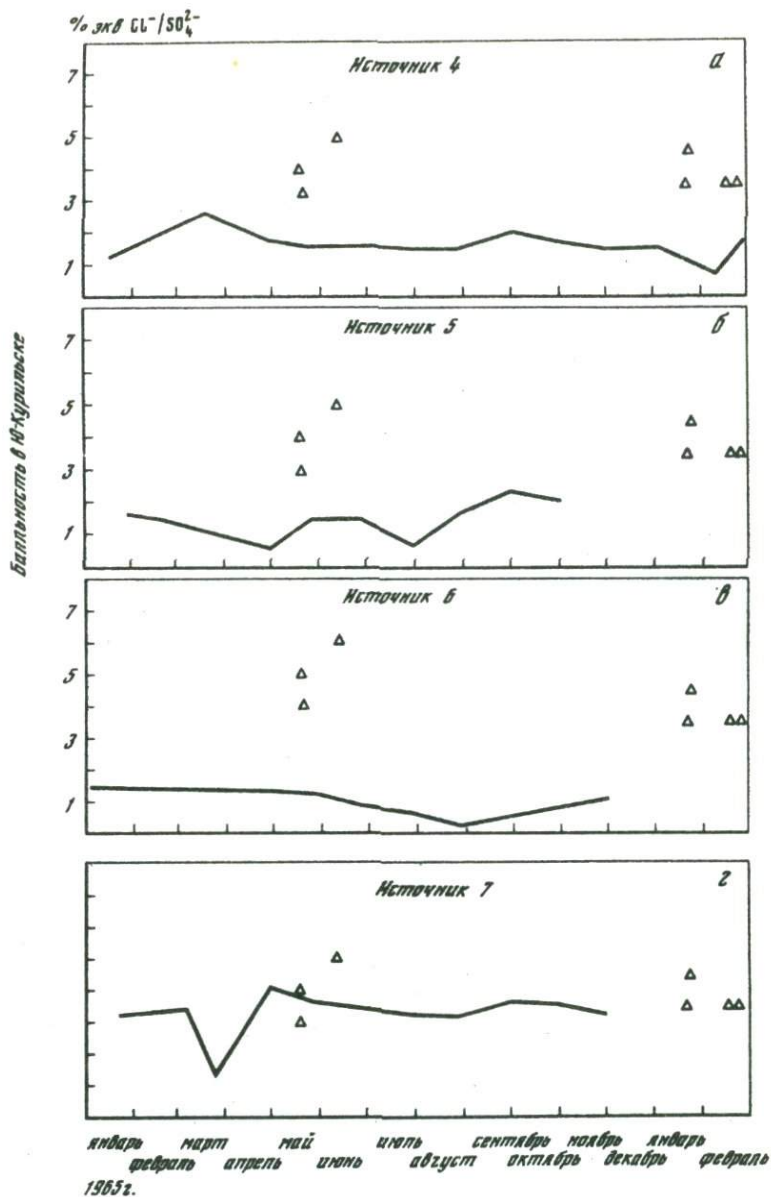


Рис. 30. Зависимость отношения Cl^-/SO_4^{2-} в % экв. в источниках Горячего Пляжа и вулкана Менделеева от сейсмической активности в 1965 г.

а — источник 4, б — источник 5, в — источник 6, г — источник 7, д — источник 10

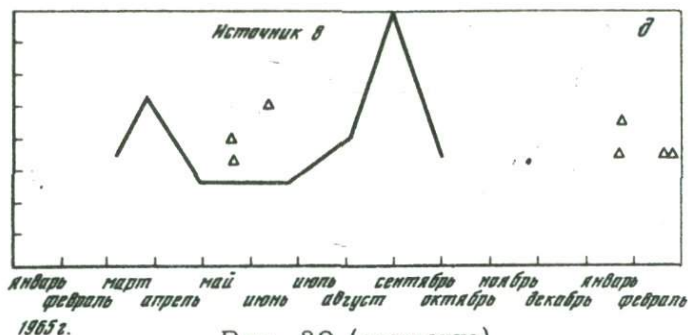


Рис. 30 (окончание)

это уменьшение предшествовало землетрясениям. В других их сопровождало (источники 10 и 4). В третьих — следовало за ними (источник 6).

Рекомендовать использовать это отношение для прогноза землетрясений было бы преждевременно. Но вопрос требует дальнейшего изучения.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПОДНОЖИЯ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА В СЪЯЗИ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ 17 И 24 ИЮНЯ 1973 Г.

17 и 24 июня 1973 г. на о. Кунашир произошли сильные, интенсивностью приблизительно в 6 баллов, землетрясения с очагами, расположенными юго-восточнее о. Шикотан.

Подмечено резкое увеличение содержания Cl^- в пробах воды, взятых в термальной скв. 5 после землетрясения. Так, содержание хлора в апреле 1973 г. составляло 4,85 г/л, после же землетрясения (в июле) по данным 7 проб оно было в пределах 5,5–5,8 г/л.

В источнике 6 перед землетрясением (проба взята 3 июля) содержание Cl^- составило 1,35 г/л. На второй день после землетрясения (19 июня) — 1,59 г/л.

В источнике 1 перед землетрясениями (29.IV 73 г.) мг-экв. Cl^- составлял 25,4. После землетрясения (30.VI 73 г.) — 26,4.

Приведенные данные позволяют говорить о том, что зависимость химического состава термальных вод от сейсмической активности можно считать установленной.

Зависимость эта достаточно сложная и требует дальнейшего изучения с целью выработки критериев прогноза землетрясений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Описанные 58 групп термальных источников Курильских островов могут быть подразделены на два типа: 1) горячие источники, обусловленные историей формирования современных построек действующих вулканов; 2) термальные проявления, непосредственно не связанные с формированием этих построек. Первые – приурочены к вулcano-тектоническим разрывным нарушениям и обладают кислым, как правило, серно- и соляно-кислым анионным и разнообразным катионным составом вод. Вторые – расположены обычно среди неогеновых образований и связаны с разрывными нарушениями собственно тектонического типа; их состав – хлоридно-натриевый, реакция – почти нейтральная или слабощелочная.

2. Гидросольфатары совершают огромный объем геохимической работы, ориентировочный масштаб которой оценен на примере вулкана Эбеко. Здесь ими ежегодно переносится не менее чем $n \times 10^5$ т растворимых веществ, как ювенильных компонентов, так и материала, "выщелоченного" из вулканических пород. Большая часть компонентов выносится в море, меньшая – отлагается на склонах вулканов. Наиболее интенсивно выпадают в осадок соединения железа, алюминия и кремнезема.

3. В гидротермах, в том числе и с экстремальными значениями температуры и кислотно-щелочной реакции, обнаружены предбиологические органические соединения и микроорганизмы. Генезис аминокислот не ясен. Бактерии горячих источников являются реликтом примордиальных организмов. Они активно участвуют в преобразовании изверженных пород и продуктов эксгаляции вулканов.

4. На примере о. Кунашир установлена причинная связь увеличения содержания в горячих источниках углекислого газа, суммы ионов хлора и сульфата и величины отношения Cl^-/SO_4^{2-} с усилением сейсмической активности недр.

- Башарина Л.А. Водные вытяжки и газы пепловой тучи вулкана Безымянного. – Бюлл. Вулк. станции, 1958, № 27.
- Башарина Л.А. Вулканические газы на различных стадиях активности вулкана. – Труды Лабор. вулк. АН СССР, 1961, вып. 19.
- Белоусов В.И. О роли геологических факторов в процессе становления и деятельности гидротермальных систем в областях современного вулканизма. – В кн.: Вулканизм и геохимия его продуктов. М., "Наука", 1967.
- Борисов О.Г., Власов Г.М. Газы и минеральные воды вулканических районов. – В кн.: "Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования". М., "Наука", 1971.
- Бюллетени сети сейсмических станций СССР. М., 1965–1969.
- Влодавец В.И. Вулканы Советского Союза. М., Изд-во АН СССР, 1949.
- Вологдин А.Г. Земля и жизнь. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Воронова Л.Г., Сидоров С.С. Химический состав современных гидротерм. – Труды СахКНИИ, 1966, вып. 16.
- Воронова Л.Г., Сидоров С.С., Сурнина Л.В. Эволюция гидротермальной деятельности вулкана Эбеко в период с 1951 по 1963 годы. – Труды СахКНИИ, 1966, вып. 16.
- Вулканические серные месторождения и некоторые вопросы гидротермального рудообразования. Под ред. Г.М.Власова. М., "Наука", 1971.
- Горшков Г.С. Хронология извержений вулканов Курильской гряды. – Труды Лабор. вулк. АН СССР, 1954, № 8.
- Горшков Г.С. Каталог действующих вулканов Курильских островов. – Бюлл. Вулк. станций, 1957, № 25.
- Горшков Г.С. Действующие вулканы Курильской островной дуги. – Труды Лабор. вулк., 1958, № 13.
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М., "Наука", 1967.
- Заварзин Г.А., Васильева Л.В., Трыкова В.В. Об участии микроорганизмов в поствулканических процессах. – Изв. АН СССР, серия биол., 1967, № 4.
- Зеленов К.К. О выносе растворенного железа в Охотском море гидротермами вулкана Эбеко (о.Парамушир). – Докл. АН СССР, 1959, т. 20, № 5.
- Зеленов К.К. Перемещение и накопление железа и алюминия в вулканических областях Тихого океана. – Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 8.
- Зеленов К.К., Канакина М.А. Бирюзовое озеро (кальдера Заваришского) и изменение химизма его вод в результате извержения 1957 г. – Бюлл. Вулк. станции, 1960, № 30.
- Землетрясения в СССР в 1965 г. и 1966 г. М., "Наука", 1967, 1970.
- Иванов В.В. Гидротермы очагов современного вулканизма Камчатки и Курильских островов. – Труды Лабор. вулк. АН СССР, 1956, вып. 12.
- Иванов В.В. Современная гидротермальная деятельность вулкана Эбеко на острове Парамушир. – Геохимия, 1957, № 1.

- Иванов В.В. Основные стадии гидротермальной деятельности вулканов Камчатки и Курильских островов и связанные с ними типы термальных вод. - *Геохимия*, 1958, № 5.
- Иванов В.В. Основные геологические условия и геохимические процессы формирования термальных вод областей современного вулканизма. - *Труды Лабор. вулк. АН СССР*, 1961, вып. 19.
- Иванов М.В., Каравайко Г.И. Роль автотрофных бактерий в окислении вулканогенной серы. - *Труды МОИП*, 1966, т. 24.
- Имшенецкий А.А. Микробиологические процессы при высоких температурах. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1944.
- Кирсанов И.Т., Федорченко В.И., Шилов В.Н. Извержение вулкана Эбеко в марте 1963 года. - *Бюлл. Вулк. станции*, 1964, № 36.
- Корсунская Г.В. Вулканы острова Симушир. - *Бюлл. Вулк. станции*, 1956, № 24.
- Корсунская Г.В. Курильская островная дуга. М., 1958.
- Красильников Н.А. Определитель бактерий и актиномицетов. - Изд-во АН СССР. М., 1949.
- Крисс А.Е., Рукина И.Н. Биомасса микроорганизмов и скорость их размножения в океанических глубинах. - *Журн. общей биол.*, 1952, т. XIII, вып. 5.
- Кузнецов С.И. Микроорганизмы горячих ключей Камчатки. - *Труды Ин-та микробиологии*, 1955, вып. IV.
- Мархинин Е.К. О приуроченности парогидротермальных проявлений на острове Кунашир к разрывным нарушениям. - *Бюлл. Вулк. станций*, 1956, № 24.
- Мархинин Е.К. Выходы пара на острове Кунашир (Горячий пляж). - *Бюлл. Вулк. станции АН СССР*, 1959, № 28.
- Мархинин Е.К. Вулканы о. Кунашир. - *Труды Лабор. вулк. АН СССР*, 1959, вып. 17.
- Мархинин Е.К. Извержение вулкана Заварицкого осенью 1957 г. - *Бюлл. Вулк. станции*, 1960, № 29.
- Мархинин Е.К. Вулканизм Курильских островов. *Изв. АН СССР, сер. геол.* 1961, № 6.
- Мархинин Е.К. Вулкан Сарычева. - *Бюлл. Вулк. станции*, 1964, № 36.
- Мархинин Е.К. Роль вулканизма в формировании земной коры. М., "Наука". 1967.
- Мархинин Е.К., Сидоров С.С. Систематическое описание гидротермальных проявлений вулканов Эбеко и Влодавца по состоянию на 1959-1960 гг. - *Труды СахКНИИ*, 1966, вып. 16.
- Набоко С.И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций. - *Труды Лабор. вулк. АН СССР*, 1959, вып. 16.
- Набоко С.И. Условия современного гидротермального метаморфизма вулканических пород. - *"Советская геология"*, 1962, № 1.
- Набоко С.И., Рябичкина Е.П. О составе некоторых конденсатов сольфатарных газов. - *Бюлл. Вулк. станций*, 1957, № 26.
- Набоко С.И., Сильниченко В.Г. Образование силикагеля на сольфатарах вулкана Головнина на о. Кунашир. - *Геохимия*, 1957, № 3.
- Набоко С.И., Сильниченко В.Г. Образование сульфидов и сульфатов на вулк. Менделеева. - *Бюлл. Вулк. станций*, 1959, № 26.
- Нехорошев А.С. Геотермические условия и тепловой поток вулкана Эбеко на острове Парамушир. - *Бюлл. Вулк. станций АН СССР*, 1960, № 29.
- Полонский А. Курилы. С.-Петербург, 1871.
- Сидоров С.С. Месторождение термальной воды и пара Горячий пляж (о. Кунашир.). - *Труды СахКНИИ СО АН СССР*, 1962, вып. 12.

- Сноу. Курильская гряда. Владивосток, 1902.
- Соловьев А.И. Курильские острова. Изд-во Главсевморпути. М.-Л., 1947.
- Сурнина Л.В. Фумарольная деятельность вулк. Эбеко. - Геохимия, 1958, № 5.
- Сурнина Л.В. Химический состав газов вулкана Эбеко. - Геохимия, 1959, № 5.
- Федорченко В.И., Шилов В.Н. Извержение вулкана Чикурачки (остров Парамушир). - Бюлл. Вулк. станций, 1963, № 4.
- Хоментовский А.С. Алехинское месторождение минеральных вод на о.Кунашир. - В сб.: Охрана природы на Дальнем Востоке. М., 1964, вып. 2.
- Чирков А.М. Радиометрические исследования на действующих вулканах. - В кн.: Проблемы вулканизма. М., "Наука", 1964.
- Чирков А.М., Барабанов Л.Н., Башарина Л.А., Зеленев К.К. Состояние некоторых вулканов Курильских островов летом 1970 года. - Бюлл. Вулк. станции, 1972, № 48.
- Шилов В.Н., Воронова Л.Г. Состояние действующих вулканов Северной группы Курильских островов летом 1959 г. и некоторые сведения об извержении вулкана Чикурачки в мае 1958 г. - Труды СахКНИИ СО АН СССР, 1962, вып. 12.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ПАРОГАЗОВЫЕ ВЫХОДЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ	5
Два основных типа термальных источников на Курильских островах	—
Описание парогазовых выходов и термальных источников	6
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОХИМИИ КУРИЛЬСКИХ ГИДРОТЕРМ	167
О выносе тепла магмой и основных предпосылках формирования термальных вод на Курильских островах	—
Приуроченность парогидротермальных проявлений к разрывным нарушениям	169
Химический состав гидротерм. Их геохимическая работа	171
Содержание радона в фумарольных газах	191
Органические соединения и микроорганизмы в гидро- термах	193
Зависимость химического состава термальных вод от сейсмической активности	200
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	208
ЛИТЕРАТУРА	209

Евгений Константинович Мархинин, Дмитрий Степанович Стратула

ГИДРОТЕРМЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Утверждено к печати институтом вулканологии ДВНЦ АН СССР

Редактор издательства *О.М. Ванюкова*. Художник *С.И. Брызга*

Художественный редактор *И.К. Капралова*. Технический редактор *Н.М. Бурова*

Подписано к печати 27/IX-77 г. Т — 15468. Усл.печ.л. 13,3+вкл. 0,7. Уч.—изд.л. 16,4
Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная №1. Тираж 650 экз. Тип.зак. 514. Цена 1р.60к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 117485, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 94а

1-я типография издательства "Наука", 199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

1 р. 60 к.

2248