

ГИДРОТЕРМЫ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Е. К. МАРХИНИН,
Д. С. СТРАТУЛА

(Институт вулканологии СО АН СССР)

В 1962—1963 гг. авторами обследовано значительное число горячих источников на островах Шиашкотан, Экарма, Расшуа, Ушишир и Кетой. Некоторые источники были обследованы впервые. Были обнаружены и опробованы ранее неизвестные термальные выходы и сольфатары (рис. 1).

На Центральных Курильских островах выделяются те же две группы горячих источников, что были отмечены ранее Е. К. Мархониным на Южных Курилах. Гидротермы первой группы связаны с современной вулканической деятельностью и приурочены главным образом к постройкам активных вулканов. Гидротермы второй группы непосредственной связи с современной вулканической деятельностью не имеют. Они приурочены к неогеновому фундаменту островов и обычно выходят на поверхность в прибрежной полосе.

Эти две группы горячих источников генетически обусловлены различными разрывными нарушениями, среди которых можно выделить два основных типа: 1) собственно тектонические и 2) вулcano-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 явились одним из факторов, обусловивших возникновение и распределение древних и современных вулканических центров на Курильских островах. Они фиксируются по линейному расположению вулканов и расположению самих островов Курильской гряды по дуге, по наличию на них, или в непосредственной близости от них, зон сульфидизации и паро-гидротермальных проявлений. К этому типу нарушений относятся также трещины всевозможных направлений, возникшие при смятии в складки пород фундамента островов.

Нарушения второго типа приурочены к вулканическим постройкам и обусловлены историей развития вулканической деятельности. К ним относятся кольцевые и радиальные разломы, вулканические каналы и др. Их наличие подтверждается соответствующей морфологией вулканических построек, наличием зон измененных пород и рядом других признаков.

Представителями гидротермальных проявлений, обусловленных собственно тектоническими нарушениями и приуроченных к ним, являются

горячие источники второй группы — Башмачные, Водопадные, Двухконусные, Дробные, Закатные, Обвальные, Расшувашские.

Действующие вулканы Синарка и Кунтоминтар и потухший вулкан Каменные Ловушки расположены на одной линии. Напршивается вывод, что эти вулканические постройки покоятся над одним и тем же

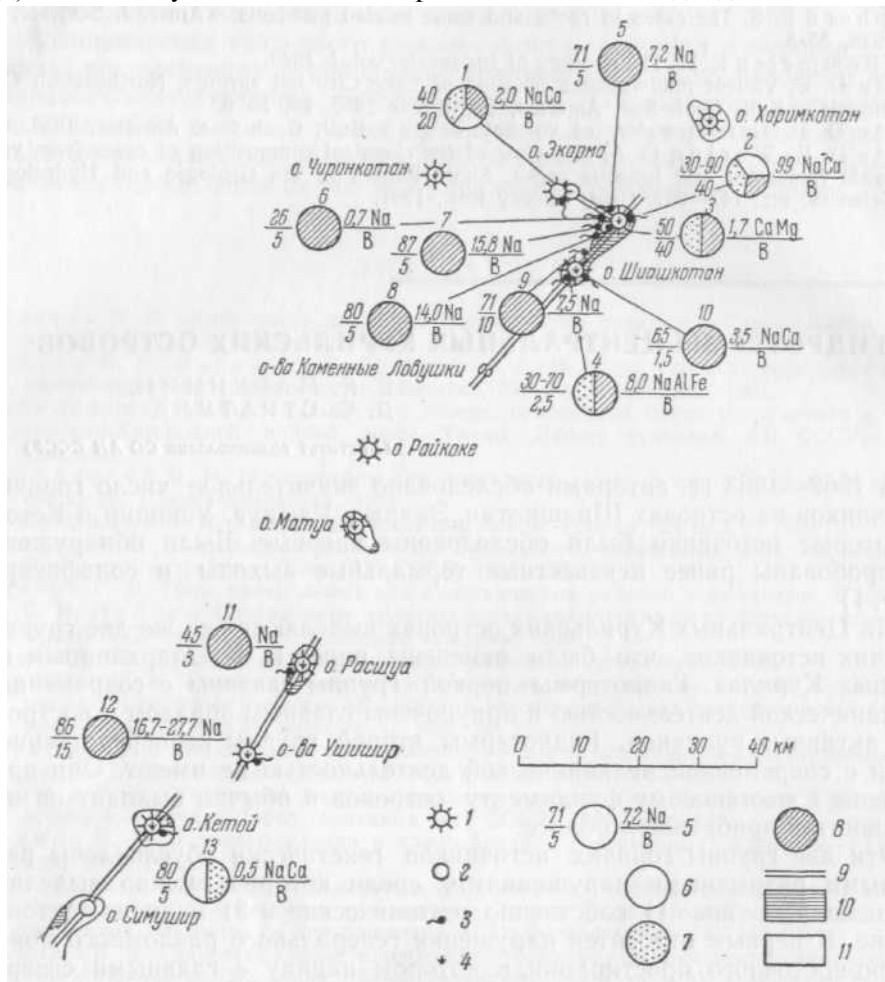


Рис. 1. Горячие источники и парогазовые выходы на Центральных Курильских островах.

1 — вулканы действующие; 2 — вулканы потухшие; 3 — горячие источники (1 — Экармские; 2 — северо-восточные вулкана Синарка; 3 — подножия экстрезивного купола вулкана Синарка; 4 — вулкана Кунтаминтара; 5 — Башмачные; 6 — Двухконусные; 7 — Водопадные, 8 — Дробные; 9 — Закатные; 10 — Овальные; 11 — Расшувашские; 12 — Ушиширские; 13 — вулкана Кетой); 4 — фумаролы; 5 — состав термальной воды. (Цифра вверху — номер источника; дробь слева: числитель — температура в °С, знаменатель — дебит в л/сек; дробь справа: числитель — минерализация в г/л, преобладающие катионы, знаменатель — специфические микрокомпоненты; круг заштриховывается в соответствии с преобладающими анионами); 6 — воды с преобладанием гидрокарбонатного аниона; 7 — воды с преобладанием сульфатного аниона; 8 — воды с преобладанием хлоридного аниона; 9 — основные разломы; 10 — неогеновые образования; 11 — четвертичные образования

глубинным разломом и их местоположение предопределено им. Очевидно, этим разломом обусловлена и повышенная температурная аномалия, с которой связаны прибрежные горячие источники о-ва Шишкотан. Выходы на поверхность термальных вод приурочены преимущественно к пересечениям разломов, секущих породы неогенового (?) фундамента.

Через район Башмачной группы источников проходят крупный разлом северо-восточного направления и ряд более мелких радиальных разломов, идущих от вулкана Синарка. Закатные и Обвальные источники связаны с разломами меридионального и северо-восточного простирания. На пересечении крупных меридиональных разломов с более мелкими широтными возникли Дробные, Водопадные и Двухконусные источники. Наличие этих разломов подтверждается прямолинейным очертанием участков побережья острова, распространением вдоль них измененных пород. Они устанавливаются также по вытянутости вдоль них выходов горячих вод. На всех термальных полях неогеновые (?) породы секутся большим количеством крутопадающих даек эффузивов северо-западного, широтного и меридионального направления. Приуроченность гидротерм к пересечениям разломов подтверждается еще и тем, что направление основных водопродводящих трещин на всех термальных полях совпадает с простиранием даек и разломов.

Паро-гидротермами, связанными с вулcano-тектоническими нарушениями и генетически обусловленными историей деятельности современных вулканов, являются паро-газовые выделения и горячие источники вулканов Синарка, Кунтоминтар, Расшуа, Ушишир, Кетой. К термам, приуроченным к современным кратерам и воронкам взрыва, относятся паро-газо-гидротермы вулканов Кунтоминтар, Расшуа, Ушишир. Примерами паро-гидротерм, возникновение которых обусловлено радиальными разломами, являются фумаролы и горячие источники северо-восточного и северо-западного термальных полей вулкана Синарка, северо-западного термального поля вулкана Кетой. Паро-газовые выделения и горячие источники, связанные с выжиманием экструзивных куполов, проявляются на вулкане Синарка.

Химический состав термальных источников Центральных Курильских островов формируется главным образом под воздействием магматических газов, вод океана и солей морских осадков на холодные инфильтрационные воды, попадающие в поля повышенных температур.

На склонах вулканов поверхностные воды обычно (рис. 2) слабоминерализованы (не более 200 мг/л), почти нейтральны (рН 5,5—6,5) и имеют гидрокарбонатно-кальциево-натриевый химический состав. Минерализация и солевой состав грунтовых вод колеблются в широких пределах и зависят в основном от состава водовмещающих пород. Воды, циркулирующие сквозь неизменные сильнотрещиноватые лавы и игнимбриты, являются гидрокарбонатно-сульфатными со смешанным катионным составом, их минерализация не превышает 350—400 мг/л, рН равен 5—6. Для вод, дренирующих поля гидротермально измененных пород, характерны смешанный анионный и катионный состав, высокая минерализация (от 0,5—до 11,5 г/л) и кислая реакция (рН 3,8—4,5). Дебиты подобных источников обычно незначительны, так как газогидротермально измененные породы каолинизированы и плохо отдают воду.

Формирование химического состава подземных вод происходит главным образом за счет выщелачивания вмещающих вулканогенных пород. Этим фактором объясняется и кислая реакция вод. К примеру, рН воды, выходящей из гидротермально измененных пород, составляет 1—3.

В прибрежной зоне подземные и грунтовые воды подвергаются интенсивному влиянию морской воды или солевого состава морских осадков. По взаимоотношению между компонентами эти воды весьма близки к морским. Их минерализация равна 4—7 г/л и в отдельных случаях достигает до 28 г/л.

Воды, «зараженные» компонентами морской воды, составляют главный источник питания гидротерм, приуроченных к тектоническим нарушениям фундамента островов. Почти все выходы горячих источников этого типа на Центральных Курилах расположены в приливно-отливной

полосе. На всех термальных участках широко развиты вулканогенно-осадочные породы. Химизм вод источников характеризуется хлоридно-натриевым составом, почти нейтральной реакцией (pH 6—7), высокой

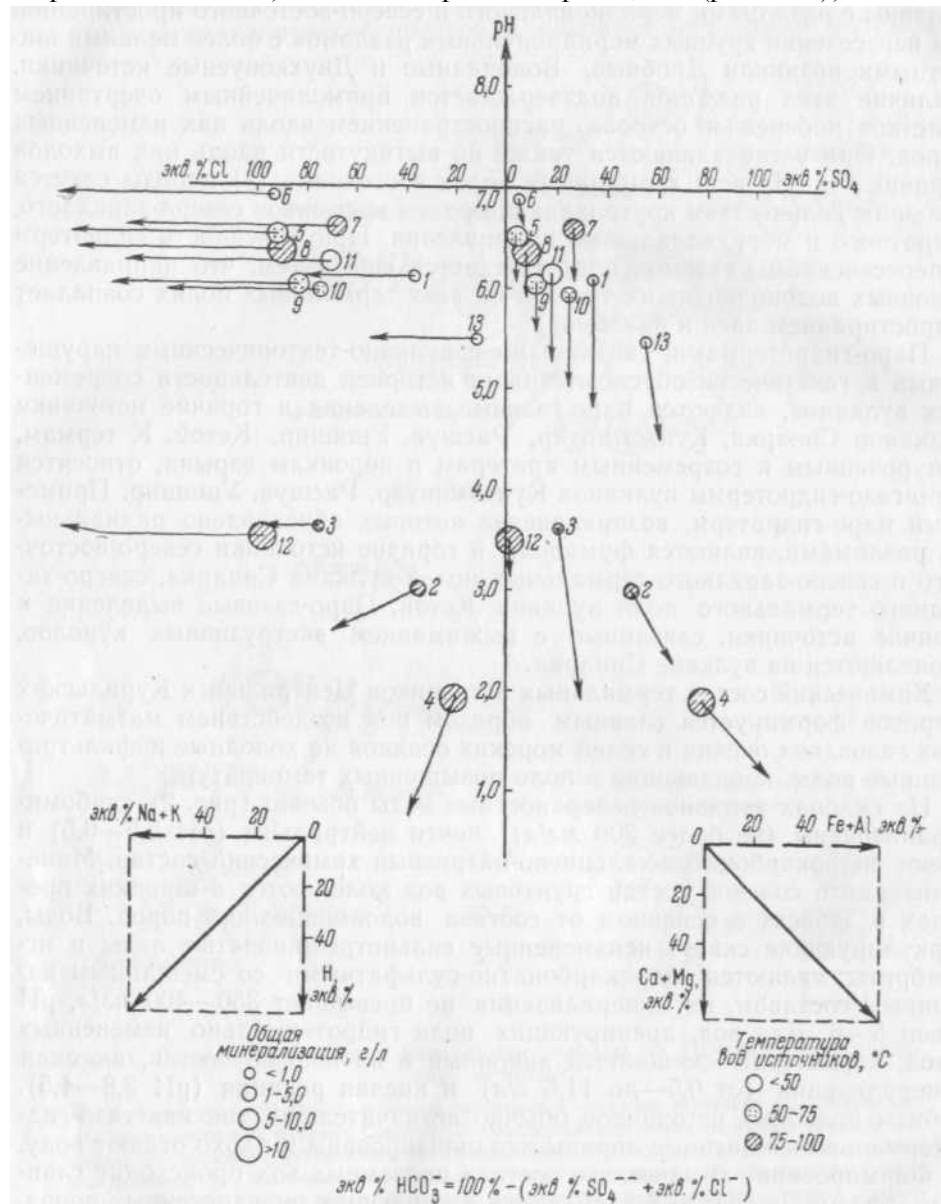


Рис. 2. Диаграмма химического состава вод горячих источников Центральных Курильских островов. Номера источников соответствуют номерам на карте

степенью минерализации (7,2—14,8 г/л). Отношения ионов натрия и брома к ионам хлора в них близки к таковым в океанической воде, и соответственно, равны 0,85—0,87 и 0,0015.

Влияние морской воды заметно также и в водах некоторых горячих источников, связанных с современной вулканической деятельностью и выходящих на поверхность в прибрежной полосе. Таковы гидротермы Кратерной бухты о-ва Янкича. Для них характерны: хлоридно-натриево-

кальциевый состав, высокая минерализация (16,7—27,3 г/л), высокая концентрация типичных компонентов вулканических газов — метаборной и метакремниевой кислот; их рН 3,5—6,0.

Наиболее ярко проявляется влияние магматических эманации на гидротермы современных действующих вулканов, когда фумарольные газы воздействуют на поверхностные или подземные воды, не «зараженные» компонентами морской воды.

Различием химического состава и интенсивности вулканических эманации, а также продолжительности стадий подземной циркуляции вод обусловлено разнообразие гидротерм активных вулканов Центральных Курильских островов. Выделяются два основных типа термальных вод: 1) сульфатно-хлоридные со смешанным катионным составом; 2) гидрокарбонатно-сульфатные щелочноземельные.

Гидротермы первого типа выходят в кратерах вулканов на контактах с экструзивными куполами. Они обладают относительно небольшим дебитом и омывают мощные выходы фумарольных газов. Их атомный состав аналогичен таковому искусственных конденсатов фумарольных паров, рН — ниже 3,5. Подобные термы вследствие их очень кислой реакции интенсивно воздействуют на окружающие породы, выщелачивая из них почти все основные порообразующие компоненты. Типичными катионами для них являются железо и алюминий. Представлены термы этой группы гидросульфатарами вулкана Кунтоминтар, подножия молодого экструзивного купола вулкана Синарка.

Гидротермы второго типа обычно выходят на поверхность на склонах вулканов. Они обладают сравнительно большим дебитом, омывают слабые «профильтрованные» фумаролы и почти не обогащаются сильными кислотами. Поэтому их химический состав почти не отличается от состава питающих их инфильтрационных вод. Минерализация источников небольшая и обычно не превышает 0,5 г/л, реакция слабокислая (рН 5—6). К этой группе гидротерм принадлежат горячие источники северо-западного термального поля вулкана Кетой.

Сульфатары и гидросульфатары выполняют огромную геохимическую работу, которая проявляется:

1) в выносе из магматического очага значительных количеств химических компонентов. По приблизительным подсчетам фумарольными газами вулканов Центральных Курильских островов ежегодно выносятся в атмосферу около 3 тыс. т H_2S , 5 тыс. т HCl , 10 тыс. т SO_2 , 1 млн. т CO_2 и т. д.;

2) в выщелачивании контактируемых с ними пород и их превращении в опалолиты, каолиниты и алуниты. Ежедневно с гидросульфатарных полей только в растворенном виде выносятся более 25 т минеральных веществ, в том числе гидротермами Кунтоминтара более 3,1 г, Синарки >7 т, Кетоя >4 т и т. д.

Судьба элементов, привнесенных в термальные растворы вулканическими газами и «выщелоченных» ими из горных пород, складывается по-разному. Часть из них выносятся в море и либо выпадает в осадок на морском дне, либо концентрируется в морской воде. Другая часть осаждается на склонах вулканов в процессе транспортировки, в результате изменения температуры, концентрации, кислотности растворов. Из кислых гидротерм наиболее интенсивно отлагаются соединения железа. Это особенно наглядно видно на вулкане Кунтоминтар, в кальдере которого сейчас формируется месторождение лимонита Красные озера.

Гидросульфатарная деятельность вулкана Кунтоминтар сосредоточена в открытом на запад центральном кратере. Выходы фумарольных газов наблюдаются по всему дну и по нижним и средним частям стенок кратера, а также на внешнем склоне южного его борта. Химический

состав конденсата хлоридно-сульфатный натриевый, рН 1,5, минерализация 3,95 г/л.

Выходы термальных вод расположены среди fumarольных полей. Всего отмечено около 10 источников с дебитом до 1 л/сек каждый. Температура воды 75—80°, рН 1,5, общая минерализация достигает 8 г/л. Анионный состав хлоридно-сульфатный, катионный—смешанный, с преобладанием ионов щелочей, алюминия и железа. По-видимому, гидротермы представляют собой искусственный конденсат сольфатарных паров.

Горячие источники впадают в вытекающий из кратера относительно крупный ручей, питающийся в основном атмосферными водами. Химический состав вод ручья сформировался в результате выщелачивания омываемых пород, растворения возгонов и ряда газовых компонентов fumarол, перемешивания с гидротермами, а температурный режим—вследствие нагревания fumarольными газами при прохождении через сольфатарные поля. У выхода из кратера температура воды ручья достигает 20—25°, общая минерализация—1,2 г/л при дебите 35 л/сек (на 12 июня 1963 г.). Химический состав сульфатно-хлоридный натриево-кальциево-железистый.

После выхода из кратера ручей впадает в котловину-кальдеру площадью около 2 км². Здесь он разветвляется на два ручейка—Западный и Северный. Северный ручей на протяжении 750—800 м течет по котловине с ровным, слегка наклонным дном. На этом участке в него впадают два горячих источника с общим дебитом 15 л/сек и несколько холодных ручьев с дебитом 60 л/сек. Горячие источники вытекают с внешней стороны южного борта кратера. Их происхождение такое же, что и Кратерного ручья. Химический состав их вод сульфатно-щелочно-щелочноземельно-железистый, температура 20—25°, рН 2,5. Холодные ручьи—снегового происхождения. Их солевой состав образуется только за счет выщелачивания пород области питания и является сульфатно-щелочноземельным, рН 4,5, температура 5°. В дальнейшем ручей течет по остаткам разрушенного склона соммы вулкана. В нескольких местах он прорезает лавовые потоки, образуя водопады. Минерализация воды в месте впадения в море 0,7 г/л, рН 4,5, дебит 100 л/сек. Химический состав сульфатно-хлоридный, щелочноземельно-алюминиево-щелочной. В приливной полосе в центральной части устья камни покрыты красным налетом, а по краям—белым. Цвет воды в море, в зоне радиусом 50—60 м,—розовый.

Северный ручей после ответвления от Кратерного ручья на участке 700—800 м просачивается через пирокластический материал, затем после выхода на поверхность впадает в относительно небольшую котловину (100x100 м), занятую двумя озерами (названными нами Красными—по цвету пород дна и берегов). Средняя глубина озер 50 см, максимальная—1 м. Озера соединяются между собой ручейком с дебитом 6—7 л/сек. Берега и дно котловины сложены рыхлым лимонитом. Из второго озера ручей, просачиваясь через агломератовый холм 20-метровой ширины, впадает в другую котловину (размером 100x100 м)—со ступенчатым дном. Ступени протягиваются перпендикулярно общему направлению понижения рельефа и имеют ширину 1—10 м и относительную высоту одной над другой 10—50 см. Большею частью они заняты небольшими и неглубокими проточными озерами. В дальнейшем ручей протекает по долине, осложненной несколькими холмами. Он часто разветвляется на многочисленные меандрирующие ветви, образующие местами мелкие озера. Через 1000—1200 м он впадает в море.

По направлению к Красным озерам в связи с интенсивным выщелачиванием пород, через которые профильтровывается ручей, минерализация воды увеличивается с 1,2 до 1,5 г/л, рН—от 3 до 4. Химический

состав становится сульфатным щелочноземельно-алюминиевым. Дальше до впадения в море химизм вод ручья остается почти неизменным, минерализация же, в связи с увеличением дебита до 20 л/сек за счет притока снеговой воды, уменьшается до 1,2 г/л. Цвет воды в море в зоне с радиусом 35—40 м молочно-голубой, камни в устье в отливной полосе покрыты белым налетом.

Рассмотрим поведение железа вод Кратерного ручья от кратера до моря. Железо выщелачивается из вмещающих пород и выносится сульфатными газами главным образом в виде двухвалентных ионов. В искусственных конденсатах и в горячих термах концентрация Fe^{2+} составляет соответственно 10 и 72 мг/л, Fe^{3+} — в обоих случаях 0,3 мг/л. В поверхностной зоне двухвалентный ион окисляется в трехвалентный. В 1 л раствора у выхода из кратера содержится Fe — 28 мг, Fe — 40 мг, а в водах горячих источников, вытекающих с внешней стороны южного борта кратера, Fe — 1 мг, Fe — 90 мг.

Общий вынос железа источниками из кратера и с внешней стороны его южного борта примерно равен 300 кг/сутки, в том числе в виде двухвалентных ионов — 80 кг и в виде трехвалентных — 220 кг.

Выпадение из раствора соединений железа наблюдается при $pH > 2$. В руслах ручьев с pH воды от 2 до 2,5 аллювиальные отложения, вследствие примеси осаждающихся гидратов окиси железа, имеют буроватый цвет. Наиболее интенсивно осаждение Fe из раствора происходит при повышении величины водородного показателя с 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 с 71 до 4 мг/л; в Западном ручье при соответствующем увеличении pH концентрация железа в 1 л раствора уменьшается с 77 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 ж, составляя в среднем около 3 м. Отложения однородной текстуры — рыхлые, объемный вес их 2 г/см³, содержат включения ожелезненных остатков растительности — стебли трав и листья кустарников. Учитывая, что площадь их распространения в районе котловин примерно равна 20 тыс. м², можно считать, что общие запасы составляют 150—200 тыс. т.

Химический состав осадка следующий: Fe — 60%, SO_3 — 2,1%, Al — 0,1%, Si — n , Ca — 0,0 n , Ti — 0,000 n +, Cu — 0,000 n +, Mo — 0,000 n , Mn — 0,000 n +. Из этих данных видно, что железо осаждается в основном в виде гидрата и сульфата. Всего в сутки на этом участке ручья отлагается примерно 40 кг железа.

Из вод Западного ручья железо также отлагается в виде лимонита и ярозита. Однако вследствие относительно быстрого течения ручья выпадающий из раствора осадок в основном сносится в море в виде механической взвеси. Всего этот ручей в сутки выносит в море около 320 кг железа, в том числе во взвешенном состоянии около 160 кг.

Циркуляция хлоридно-натриевых гидротерм по трещинам в прибрежной полосе приводит в некоторых случаях к образованию жил кремнезема, содержащих гидроокислы железа и пирит. Последний образовался, очевидно, в результате реакций между гидроокислами железа и сероводородом. Такие кремнисто-сульфидные жилы отмечаются, в частности, на восточном побережье о-ва Шиашкотан, в районе Башмачных и Закатных источников. Жильные минералы представлены кварцем, опалом, халцедоном. Отмечены цеолиты. Рудные — пирит и гидроокислы железа. Спектральный анализом обнаружены медь, никель, кобальт, хром, сурьма, молибден, цинк.