

УДК [551.23 : 556.368] (571.66) + 550.845

© 1989 г.

Г. Ф. ПИЛИПЕНКО

**ГИДРОТЕРМЫ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА
НА КАМЧАТКЕ**

Изучены термальные источники — Карымские и Академии Наук. В кальдере Карымской выявлен новый тип разгрузки высокотемпературной гидротермальной системы в виде высокодебитных углекислых минеральных источников, отличающихся повышенным содержанием магния. Естественная тепловая мощность источников около 200 МВт, температура — 42—9°С. Карымские термы сформировались в результате смешения глубинных, насыщенных CO₂, хлоридных натриевых вод с инфильтрационными, и взаимодействия их охлажденной смеси с метасоматитами предыдущих этапов развития гидротермальной системы. По общим геолого-структурным позициям, истории магматизма-вулканизма, гидротермальной деятельности, тепловой мощности, гидротермальная система кальдер Карымская — Академии Наук сходна с системами кальдер Узон — Гейзерная и Большого Семьячика. Их отличают гидрогеологические условия разгрузки, сложившиеся на последних этапах развития (в голоцене).

THERMAL SPRINGS OF THE KARYMSKII VOLCANIC CENTER IN KAMCHATKA, by Piliipenko G. F. Karymskii and Akademiya Nauk thermal springs are studied. A new type of discharge of high-temperature hydrothermal system has been discovered in the Karymskii caldera. This type is represented by high-capacity carbon dioxide mineral springs notable for high Mg content. The natural thermal capacity of the springs is 200 Mwt, the temperature 42—9°С. Karymskii thermal springs formed as a result of mixing of deep CO₂ rich sodium chloried waters with infiltrational waters and further interaction of the cooled mixture with metasomatites of previous stages of development of the hydrothermal system. The Karymskii — Akademiya nauk hydrothermal system is similar to the Uzon — Geysler and Bolshoi Semyachik systems in geological — structural features, history of magmatism and volcanism, hydrothermal activity and thermal capacity. They differ in hydrogeological conditions of discharge formed during the last stages of development (in Holocene).

(Received June 3, 1988)

Institute of Volcanology, Far East Division, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, USSR

В пределах Карымского вулканического центра известны две группы термальных источников. Они расположены вблизи действующего вулкана Карымский. Это источники Академии Наук (кипящие) на южном берегу оз. Карымского, в 5 км к югу от вулкана, и Карымские (среднетемпературные углекислые термы) — у его подножия, в кальдере. Геологическое строение и вулканизм Карымского центра достаточно хорошо изучены. Термальные источники района исследованы менее детально, и число посвященных им публикаций невелико [3, 9, 10, 13, 22]. Б. В. Иванов [9] и В. М. Сугробов [20] высказали предположение о существовании в недрах Карымской структуры гидротермальной системы, поверхностным проявлением которой могут быть источники Карымские и Академии Наук. Однако имеющийся материал не давал ясного представления о системе в целом: о ее геолого-структурных позициях, условиях формирования и разгрузки гидротерм, водных и тепловых ресурсах.

Весной 1984 г. автору представилась возможность изучить источники Карымские, сравнить с источниками Академии Наук и составить принципиально новые представления о своеобразном механизме разгрузки высокотемпературной гидротермальной системы и масштабах выноса тепла Карымскими гидротермами. Полученная величина тепловой мощ-

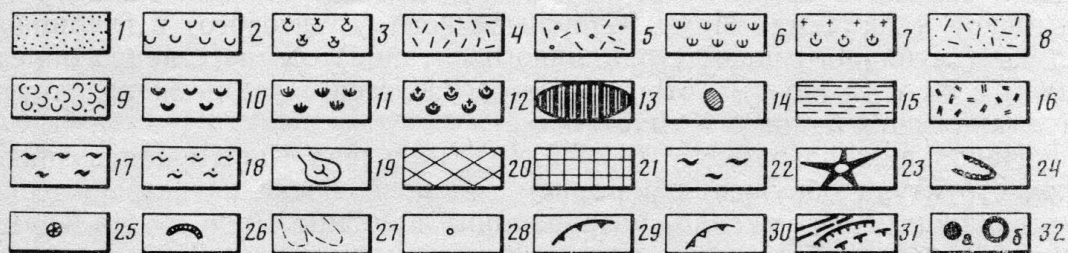
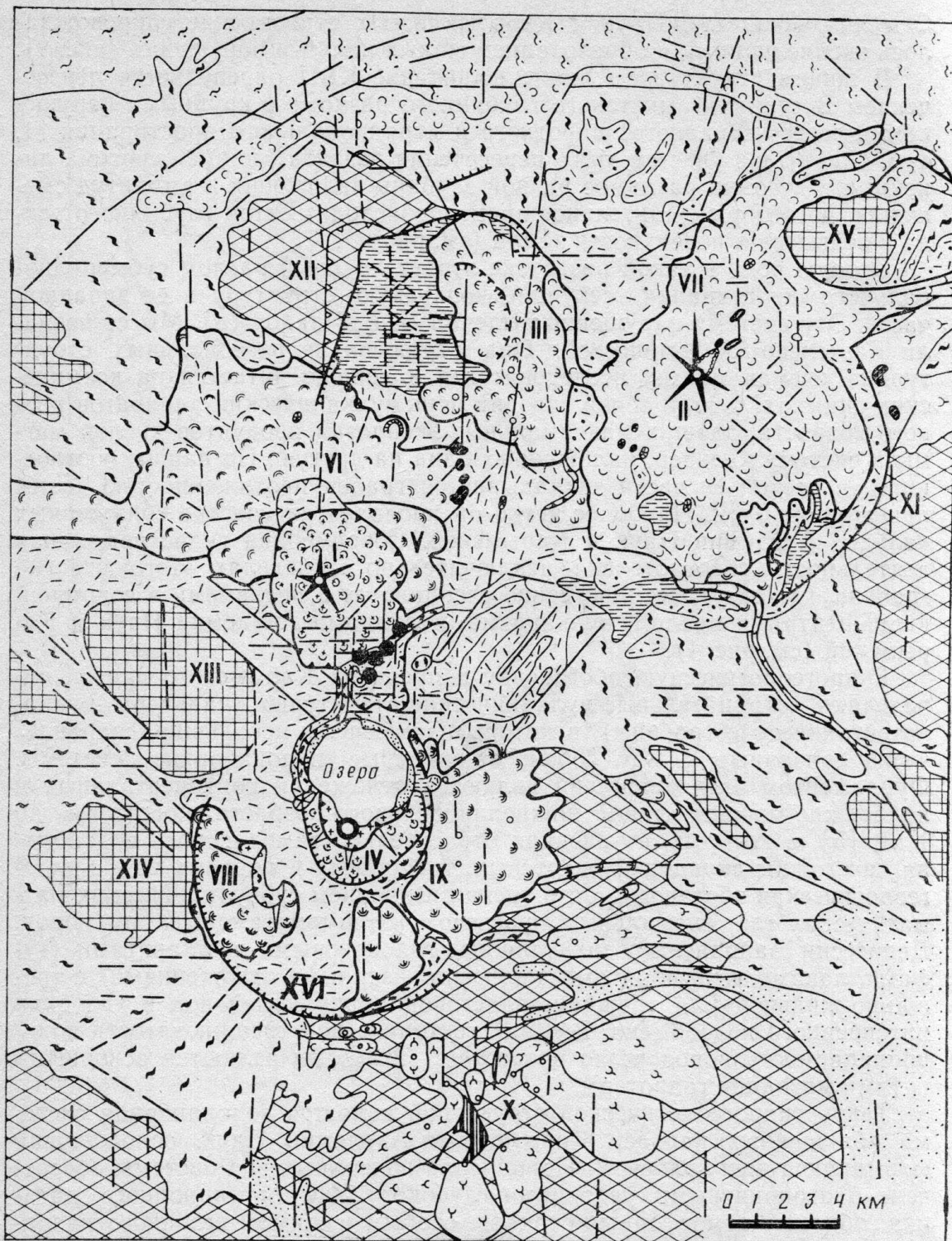
ности, близкая к 200 МВт, ставит Карымскую систему в ряд наиболее крупных гидротермальных систем Камчатки. Геологической основой для наших построений послужили публикации, посвященные Карымскому вулканическому центру [3, 5, 8, 22, 25]. Эти данные дополнены собственными наблюдениями, позволившими по-новому интерпретировать некоторые детали геологического строения района.

Геологическое строение района

Карымский вулканический центр (КВЦ) находится в ряду кольцевых вулканотектонических структур центрального участка Восточного вулканического пояса — области крупнейших на Камчатке вспышек кислого вулканизма в верхнеплиоцен-четвертичное время [1—5, 8]. Эти структуры — Карымская, Большой Семячик, Узон — Гейзерная — имеют общие черты развития и глубинного строения [6, 18]. На поверхности они выражены системой кальдерных депрессий, для которых характерно проявление гидротермальной активности в прошлом и в настоящее время.

КВЦ существует с конца нижнего плиоцена, примерно 2 млн. лет. Общий объем вынесенного вулканического материала оценивается в 1700 км^3 , в том числе кислой пирокластики $\sim 750 \text{ км}^3$ [5]. Отражением этих геологических катастроф служат депрессии, кальдеры, вулканические постройки, экструзивные образования, разные по форме, возрасту и размерам, возникшие в сводовой части структуры. В верхнем плейстоцене — голоцене в кальдерах сформировались стратовулканы — Малый

Рис. 1. Схема геологического строения Карымского геотермального района. Составлена по [5, 8] с дополнениями автора. *Голоцен* (Q_4): 1 — современные аллювиальные, озерные и морские отложения; 2 — базальты и андезитобазальты стратовулкана Малый Семячик; 3 — андезиты, андезиодациты и дациты стратовулкана Карымский; 4 — пирокластический покров, связанный с образованием кальдеры на вулкане пра-Карымский (Q_4^2). *Верхний плейстоцен*: 5 — пирокластический покров, возникший при образовании кальдеры на вулкане пра-Семячик (Q_3^4); 6 — лавовые конусы и их лавовые потоки моногенных вулканических образований андезитобазальтового и андезитового состава (Q_3^3); 7 — лавы и туфы андезиодацитов и дацитов вулкана-экструзии Академии Наук (Q_3^4); 8 — пирокластический покров, связанный с образованием кальдеры на в. Однобокий (Q_3^1); 9 — пирокластические потоки, источник извержения которых не установлен. *Средний — верхний плейстоцен* (Q_2 — Q_3): 10—12 — стратовулканы, лавовые, шлаковые конусы и их лавовые потоки преимущественно андезитобазальтового (10), андезитового (11), андезиодацитового и дацитового (12) состава; 13 — экструзии андезитов; 14 — экструзии дацитов и липаритов; 15 — полифациальный комплекс внутрикальдерных вулканогенно-осадочных отложений (Q_2^3 — Q_3^3). *Средний плейстоцен* (Q_2): 16 — пирокластические потоки внутрикальдерного заполнения; 17 — пирокластические покровы игнимбритообразующих извержений, связанные с образованием кальдер Стены-Соболиного и Половинки; 18 — пирокластические покровы игнимбритообразующих извержений, связанные с образованием кальдеры Большого Семячика; 19 — лавовые потоки преимущественно андезитобазальтового состава. *Нижний — средний плейстоцен*: 20 — разрушенные стратовулканы и их лавовые потоки андезитобазальтового и базальтового состава (Q_1 — Q_2). *Верхний неоген — ранний плейстоцен* (N_2 — Q_1): 21 — разрушенные стратовулканы и их морфологически едва заметные лавовые потоки базальтового и андезитобазальтового состава; 22 — туфы и игнимбриты, центр извержения которых не установлен. Прочие обозначения: 23 — действующие вулканы; 24 — кратеры; 25 — шлаковые конусы и лавовые купола; 26 — маары; 27 — контуры отдельных лавовых потоков; 28 — центры вулканических излияний; 29 — сбросовые и эрозионные уступы обрамления кальдер; 30 — уступы эксплозивных форм на вулканах; 31 — тектонические нарушения, кольцевые разломы кальдерных депрессий; 32 — термальные источники: Карымские (а), Академии Наук (б). Вулканы: I — Карымский, II — Малый Семячик, III — Ступенчатый бастион, IV — Академии Наук, V — пра-Карымский, VI — Двор, VII — пра-Семячик, VIII — Белянкина, IX — Однобокий, X — Дитмара, XI — Стена, XII — Соболиный, XIII — Разлатый, XIV — Крайний, XV — Березовый, XVI — кальдера Половинки



Семьячик, Академии Наук и Карымский. Их становление сопровождалось эксплозиями и образованием малых кальдер обрушения (рис. 1).

В общем структурном плане положение КВЦ определяется пересечением Восточно-Камчатского глубинного разлома с крупными нарушениями северо-западного, широтного и меридионального простирания [1, 4, 5, 18, 19]. На участке этого пересечения развита сложная система линейных и дуговых разломов разной глубины заложения и амплитуд смещения, по которым длительное время происходит отток глубинного тепла и вещества к поверхности земли (см. рис. 1).

Особую роль в такой разгрузке играет крупный разлом субмеридионального простирания, секущий кольцевую структуру в ее западной части. Эту систему нарушений выделил Б. В. Иванов [8]. Мы ее назвали Карымско-Академической. Она отражена на региональных структурных схемах многих исследователей и хорошо читается на космических снимках. С этой зоной связана цепь вулканических аппаратов разного возраста, давших максимальные эксплозии продуктов кислой магмы и систему кальдер, наложенных одна на другую. По нашим построениям, в осевой ее части закладывается грабен протяженностью 15 км при ширине 6 км. Наиболее четко он проявлен на участке сближенных кальдер Академии Наук и Карымской. Современная гидротермальная деятельность сосредоточена исключительно в пределах этого участка грабена, где она пространственно ассоциирует с недавними и современными центрами кислого вулканизма, вулканами Академии Наук и Карымский (см. рис. 1).

Гидрогеологическую обстановку в пределах Карымского центра определяют «отрицательные вулканические структуры» (кальдеры, вулкано-тектонические грабены), в которых заключены небольшие, гидравлически связанные между собой, наложенные водонапорные системы. Фундаментом этих депрессий являются отложения континентальных и прибрежно-морских фаций нижнеплиоценового возраста, мощностью до 1 км [5], в которых, в условиях относительно замедленного водообмена, возможны скопления пластовых, трещинных и поровых вод. Гидрогеологическая обстановка осложнена внедрением субвулканических магматических тел, аномальным прогревом и термометаморфизмом пород. Депрессии заполнены верхнеплиоцен-голоценовыми вулканитами (туфами, лавами, игнимбритами, кальдерно-озерными отложениями) с трещинно-жильной или трещинно-пластовой циркуляцией вод в условиях интенсивного водообмена. В зонах тектонической трещиноватости водопроницаемость пород резко возрастает. Эти зоны являются основными путями миграции гидротерм.

Такой гидрогеологической структурой является водонапорная система сближенных кальдер Карымской и Академии Наук, осложненная формирующимся грабеном. Пополнение подземных вод системы обеспечено благоприятными условиями глубокого инфильтрационного питания: обилием атмосферных осадков, особым режимом сезонного накопления вод в кальдерах, высокой проницаемостью покровных отложений. Нами выполнен ориентировочный расчет водного баланса кальдер Карымской и Академии Наук. Модули речного (грунтового) и глубинного стока (глубинного инфильтрационного питания) соответственно определены в 58 и 15 л/с·км², что хорошо согласуется с данными для других вулканических районов Камчатки.

Небольшая по размеру (5×6,5 км), кальдера Карымская возникла как структура обрушения в раннем голоцене, после катастрофических эксплозивных извержений, разрушивших вулканы Двор и пра-Карымский. Кальдерообразующие извержения закончились ~7500 лет назад, после чего началось накопление озерных и флювиальных отложений. Мощность их около 20 м. Они налегают на неровную поверхность вулканитов взрывного генезиса, заполняющих кальдеру. Очередная вспыш-

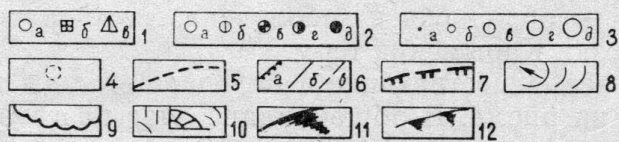
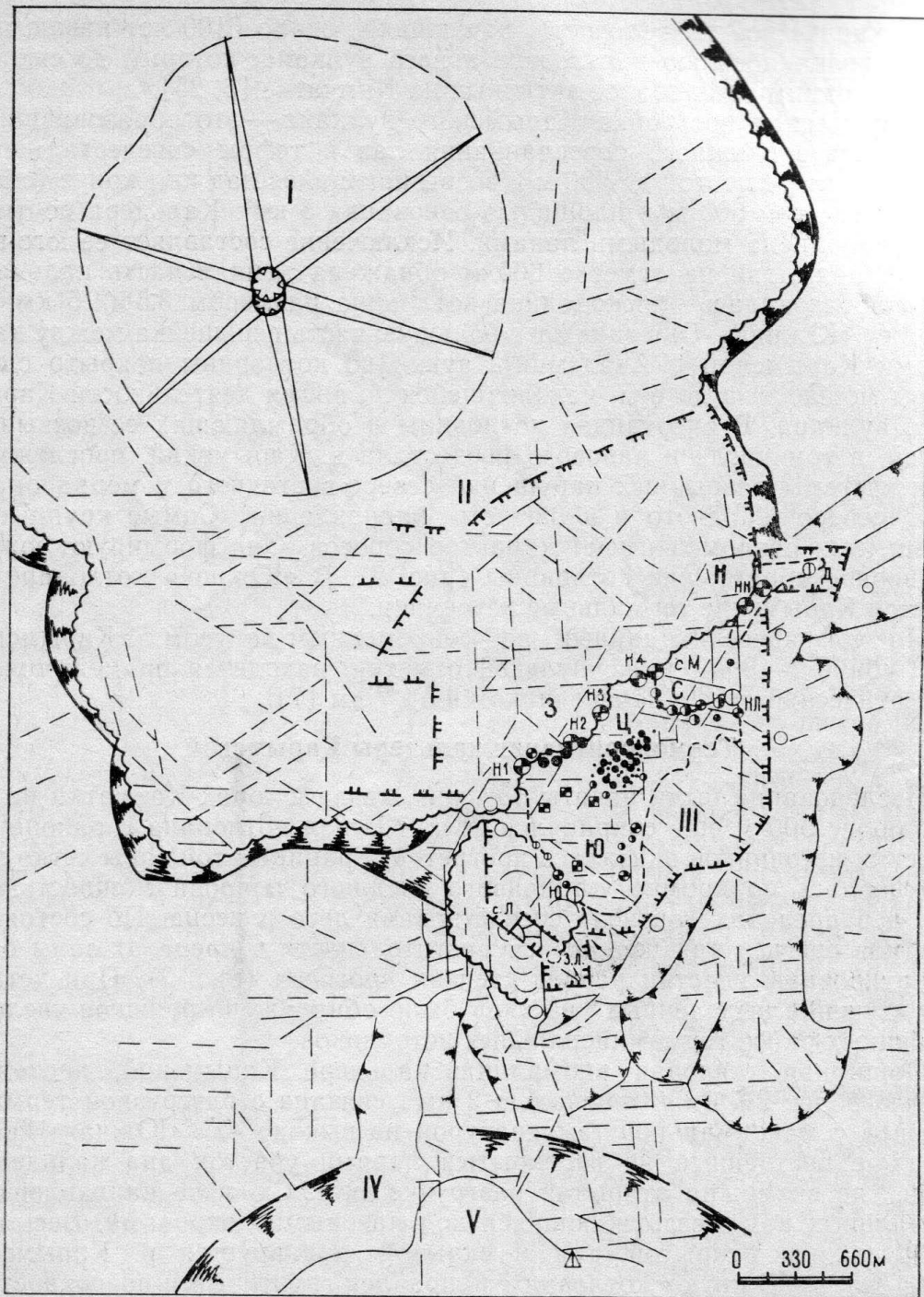


Рис. 2. Структурная схема южной части кальдеры Карымской (участок разгрузки термальных вод). Составлена на основе дешифрирования аэрофотоснимков. 1 — источники (а), озёрки (б), выходы спонтанного газа (в); 2 — температура, °С: < 3 (а), 3—10 (б), 11—12 (в), 25—35 (г), 36—42 (д); 3 — дебит источника, л/с: < 0,3 (а), 0,3—0,5 (б), до 3 (в), до 15 (г), десятки и более (д); 4 — скрытая разгрузка термальной воды; 5 — видимые восточные границы Карымской термальной аномалии; 6 — тектонические нарушения: а — сбросы, б, в — трещины установленные (б) и хорошо дешифрируемые (в); 7 — тектонические нарушения, определяющие предполагаемые контуры очага разгрузки термальных вод; 8 — трещины отрыва, склоновые оползания блоков пород; 9 — краевые части лавовых потоков лавового пьедестала в Карымский и конуса Лагерный; 10 — лавовый конус Лагерный (с. Л.) и его лавовые потоки; 11 — уступы кальдер Карымской и Академии Наук; 12 — обрывы внутренних склонов Юж-

(см. прод. на стр. 90)

ка вулканической деятельности, начавшаяся около 6100 лет назад, привела к возникновению в кальдере нового вулкана, который до сих пор остается одним из наиболее активных на Камчатке [5, 25].

Современная постройка Карымского вулкана — это образовавшийся в результате сложного переслаивания лав и тефры «пьедестал» площадью 20 км², высотой до 250 м и возвышающийся над ним конус (с кратером) высотой 600 м и площадью основания 5 км². Кальдера почти до краев заполнена молодыми лавами. Исключение составляет ее юго-восточный край, где на отметке 600 м обнажена донная часть кальдеры. Здесь образовалась плоскодонная котловина размером 3,5×1,5 км, назовем ее «Южная». Она занимает большую часть перешейка между кальдерами Карымской и Академии Наук. Дно котловины покрыто слоем тефры мощностью до 6 м, накопившейся за время деятельности Карымского вулкана. В очертаниях котловины и обрамляющих ее возвышенностей, в том числе и лавового пьедестала в. Карымский, прослеживаются системы разрывных нарушений северо-восточного и меридионального, северо-западного и широтного направлений. Самые крупные из поперечных разломов имеют характер сбросов. Они формируют южное и северное обрамление котловины (рис. 2). В «Южной» котловине находятся Карымские термальные источники.

По геофизическим данным, под современным конусом в. Карымский, на глубине 2—3 км ниже нулевой отметки, находится промежуточный магматический очаг с поперечником 4,5×7 км [7].

Термопроявления кальдеры Карымской

Исследования были начаты 15 июня, когда в горах Камчатки на высоте более 500 м еще сохранялся снег. Южная котловина в районе Карымских источников оказалась прогретой. Границы этой зоны четко прослеживались по кромке устойчивого снежного покрова мощностью до 2 м, а в пределах «оазиса» соседствовали лето и весна. По состоянию остатков снега и развивающейся растительности в пределах зоны были откартированы участки разной степени прогрева (рис. 3). При детальном изучении выделенных участков было обнаружено большое число не описанных ранее термоминеральных источников.

Обширная тепловая аномалия в кальдере Карымской, протяженностью более 2,5 км и площадью 2 км², связана с разгрузкой термальных вод с максимальной температурой на выходе 42°. «Южная» котловина — единственный не перекрытый лавами участок дна кальдерной чаши, где возможна открытая разгрузка терм. Сюда же направлен сток термальных вод, разгружающихся под лавовыми покровами. Весь очаг разгрузки как открытой, так и скрытой, дренируется р. Карымской. Сюда же, в «Южную» котловину, направлен грунтовый и поверхностный сток метеорных вод кальдеры с площади 40 км². Поэтому котловина очень сильно обводнена и заболочена. Это определило специфику условий разгрузки Карымских терм.

Почти все существующие в кальдере выходы термоминеральных вод показаны на рис. 4. В общем плане очаг разгрузки терм имеет очертания ромба, его северная половина перекрыта молодыми лавами, основные термовыводящие зоны тяготеют к осевой части. Расположение участков разгрузки и даже отдельных групп источников контролируется системой тектонических трещин. Разгрузка терм локализуется в уз-

ной котловины. *Прочие обозначения:* I — современный конус в. Карымский, II — кальдера Карымская, III — Южная котловина, IV — северный борт кальдеры Академии Наук, V — оз. Карымское, северный залив. с. М. — Мишина горка, З. л. — Зеленый лог. *Термальные участки:* Ю — Южный, Ц — Центральный, З — Западный, С — Северный, Н — Нижний. *Термальные источники:* Ю — Южный, Н1 — Нарзан Первый, Н2 — Нарзан Второй, Н3 — Нарзан Третий, Н4 — Нарзан Четвертый, НЛ — Нарзан Лагерный, НН — Нарзан Нижний, Д — Дальний

лах пересечения субширотных разломных зон с роями трещин меридионального и северо-восточного простираний (см. рис. 2, 4).

Во всем многообразии источников выделяются два основных вида.

1. Восходящие источники («горячие нарзаны») ¹ и сопутствующие им высачивания. Температура — 42—36 и до 25° ², дебит — 0,5—0,1 л/с; высачивают гидроокислы железа, образуя отлогие лимонитовые конусы с грифоном на вершине, а также водяные воронки и озера, слабо газируют. Сосредоточены в низинной части Южной котловины.

2. Нисходящие источники («теплые нарзаны») ³. Температура 22—9°, дебит до 100 л/с и более. Разгрузка несколькими выходами из-под лав в Карымский. Истечение воды, несущей разную долю термальную, сопровождается выходами отделившегося ранее углекислого газа (мофеттами).

По месту, характеру выхода и температуре источники группируются в термальные участки. Каждый такой участок дренируется собственным ручьем. Выделены 5 участков: Центральный, Западный, Южный, Северный, Нижний. Наиболее типичны для Карымских терм Центральный и Западный участки. Представление об источниках кальдеры можно получить по рис. 2, 4.

В целом, проведенные исследования дали возможность сделать следующие оценки видимого дебита Карымских источников: горячие восходящие (36—42°) — до 35 л/с; источники, сопутствующие им (16—35°), — до 30 л/с; теплые нарзаны (9—22°) — более 500 л/с.

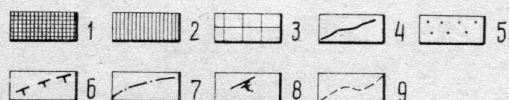
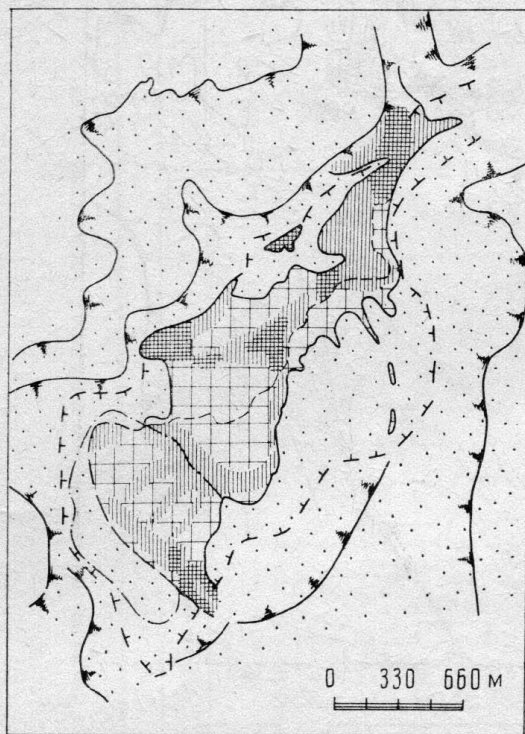


Рис. 3. Схематический план Карымской термоаномалии по состоянию снежного и растительного покровов (15—17 июня 1984 г.). Прогрев: 1 — сильный (летняя зелень), 2 — умеренный (весенняя зелень), 3 — слабый (местами остаточное снеготаяние, зелени нет); 4 — контуры наведенной термальной аномалии; 5 — снежный покров разного состояния; 6 — контуры донной части котловины; 7 — контуры конуса Лагерный и его лавовых потоков; 8 — эрозионные уступы обрамления Южной котловины; 9 — река

Воду она определила как углекислую, сульфатно-натриевого типа с высоким содержанием магния. Более поздние исследования существенных изменений в эти представления не внесли [10, 13].

^{1, 3} См. химический состав гидротерм.

² Здесь и далее температура в °С.

⁴ Отчет «О комплексной геолого-гидрогеологической съемке в м-бе 1:500 000, произведенной в 1953 г. в бассейнах рек Семячик, Правая и Левая Жупанова п-ова Камчатка». 1954. ГФ ПГО «Камчатгеология», инв. № 01353.

Химический состав гидротерм

Карымские гидротермы. Первые сведения об их составе были получены Е. М. Изотовой ⁴. Она обратила внимание на многочисленные источники с температурой 30—43°, вытекающие из грифонов лимонитовых бугров в пойме р. Карымской. Вода одного такого источника имела состав, мг/л: (Na⁺+K⁺)—299; Ca²⁺—92; Mg²⁺—213; Fe²⁺—0,2; Cl⁻—319; SO₄²⁻—751; HCO₃⁻—640; окисляемость — 5,6; CO_{2св.}—937; SiO₂—40; при M_{общ.}—2,4 г/л, рН 6,2 и T 43°.

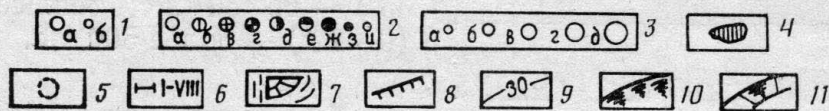
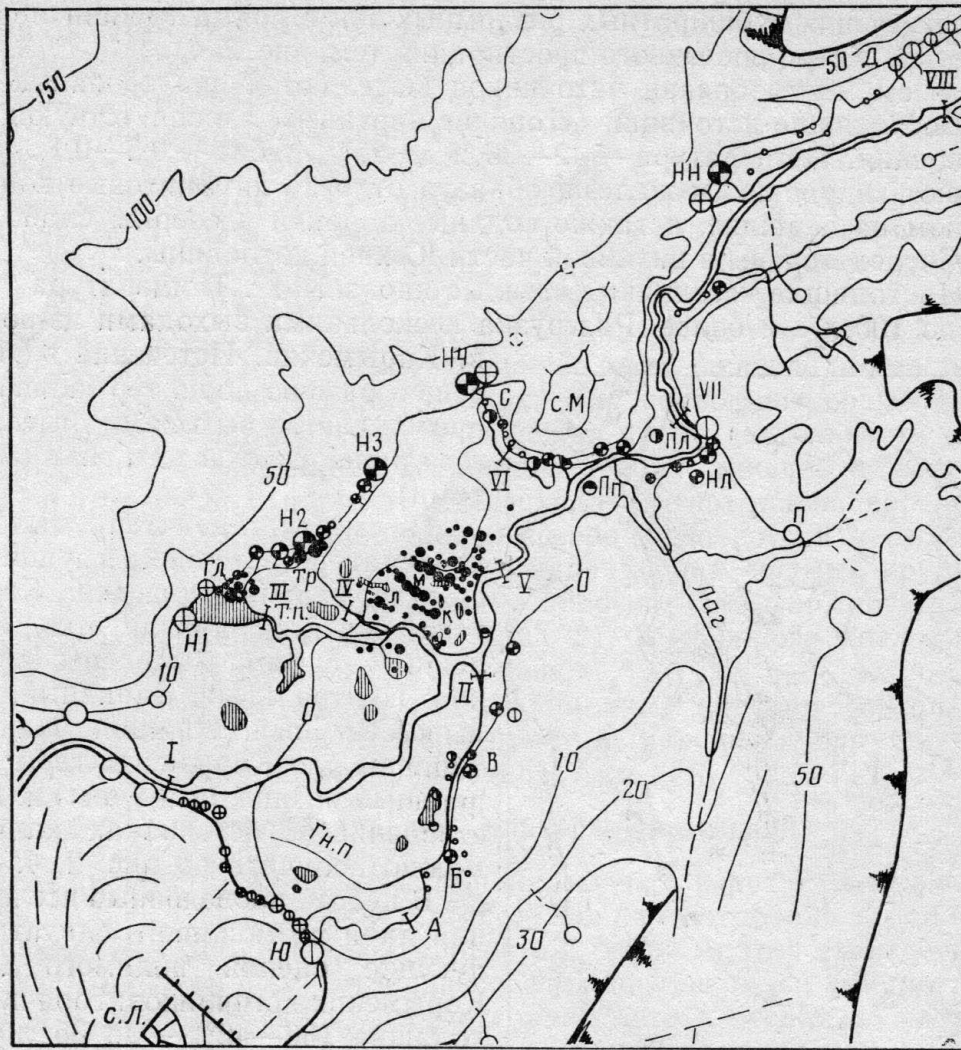


Рис. 4. Схема расположения термальных источников в кальдере Карымской. 1 — источники (а), высачивания (б); 2 (а—и) — температура, °С: < 3 (а), 3—10 (б), 11—15 (в), 16—24 (г), 25—29 (д), 30—35 (е), 35—42 (ж), > 25 (з), 10—25 (и); 3 (а—д) — дебит источника, л/с: < 0,3 (а), 0,3—0,5 (б), до 3 (в), до 15 (г), десятки и более (д); 4 — теплые озера, T °С = 15—20; 5 — временные источники; 6 — гидрометрический створ, его номер; 7 — лавовый конус и его лавовые потоки; 8 — тектонические сбросы; 9 — горизонталы, м (отсчет от условного нуля); 10 — эрозионный обрыв внутренних склонов Южной котловины; 11 — сбросовый уступ кальдеры Карымской. Источники и ручьи: Б — Болотный, В — Восточный, К — Крайний, Л — Лимонитовый, М — Малахитовый, Р — Режимный, Гл — Главный грифон, Тр — Трещинный, С — Скальный, Пл — Пойменный Левый, Пп — Пойменный Правый, П — Питьевой, Гн.п. — Гнилая протока, Т.п. — Теплая протока, Лаг. — руч. Лагерный. Остальные названия см. на рис. 2

Нами изучен состав вод от пресных холодных с $T=0-1^{\circ}$, до горячих минеральных — с $T=42^{\circ}$. Результаты анализа приведены в табл. 1. Термы с максимальной минерализацией имеют и самую высокую температуру. Это вода лимонитовых конусов и грифонов на Центральном и Западном участках. Она слабокислая, хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатного натриево-магниевого состава; специфические компоненты — SiO_2 , В, F, Li; минерализация — 2,6 г/л. В составе газов Карымских гидротерм преобладает $\text{CO}_2 > 75$ об.%, почти нет O_2 и полностью отсутствует H_2S (табл. 2). Общее содержание CO_2 в источниках — около 1 г/л. В спонтанном газе присутствует Rn, до $8 \cdot 10^{-10}$ Ки/л [25]. Высокая кон-

Химический состав термальных и сопутствующих им вод кальдеры Карымской, мг/л

Компоненты	Номера источников																		
	1	2*	3*	4*	5	6*	7*	8*	9	10*	11	12	13	14	15	16	17	18	19**
Na ⁺	296	263	269	252	201	170	410	60	80	63	84	54	36	24	35,3	10,4	3,0	1	237
K ⁺	33	28	28	39	22	16	43	9	10	9	14	9	5	6	5,2	1,6	1,1	0,4	26
Li ⁺	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	—	—	—	—	—	—	—
Ca ²⁺	35	74	74	72	21	60	36	40	42	39	40	36	19	18	16	1,6	3,2	0,4	9
Mg ²⁺	166	174	159	170	160	134	66	85	43	37	34	24	44	12	19,5	0,5	1,0	0,0	0,0
Cl ⁻	240	220	194	193	181	120	85	68	51	48	45	33	26	23	30,5	8,5	2,1	2	355
SO ₄ ²⁻	730	660	614	557	500	385	292	184	230	139	175	115	61	44	66	3,8	4,8	5	92
HCO ₃ ⁻	410	609	704	798	440	660	250	231	220	227	240	198	224	89	137,1	35,1	30,2	10	85
F ⁻	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	2,3***
H ₃ BO ₃	10	5	9	7	9	5	0,0	1	2	0,0	2	2	1	1	2	0,0	1,0	0,0	48***
H ₄ SiO ₄	243	263	295	275	280	200	125	104	121	125	120	97	82	68	69	48	41	3	343
CO ₂ св.	—	99	131	218	2	—	55	92	—	168	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M _{0,6} ш	2168	2396	2478	2582	1832	1750	1032	874	800	855	755	568	498	284	380,8	109,6	87,6	22	1200
T, °C	42	41	41	41	39	27	22	9	18	16	16	13	9	7	8,5	1	1,5	0	98
pH _{лаб}	8,4	6,1	6,2	6,1	8,7	6,1	6,1	5,7	8,3	5,8	8,7	8,6	8,3	8,4	7,8	7,0	6,7	6,8	8,7

Формулы ионного состава: 1. $\frac{SO_4 53 HCO_3 24 Cl 123}{Mg 47 Na 44}$ 2. $\frac{SO_4 46 HCO_3 33 Cl 121}{Mg 47 Na 38 Ca 12}$ 3. $\frac{SO_4 43 HCO_3 39 Cl 18}{Mg 45 Na 40 Ca 13}$ 4. $\frac{HCO_3 44 SO_4 38 Cl 18}{Mg 47 Na 37 Ca 12}$ 5. $\frac{SO_4 45 HCO_3 31 Cl 122}{Mg 56 Na 37}$

6. $\frac{HCO_3 49 SO_4 36 Cl 15}{Mg 52 Na 33 Ca 15}$ 7. $\frac{SO_4 48 HCO_3 33 Cl 19}{Mg 44 Na 39 Ca 15}$ 8. $\frac{SO_4 40 HCO_3 39 Cl 20}{Mg 51 Na 27 Ca 20}$ 9. $\frac{SO_4 48 HCO_3 37 Cl 15}{Mg 37 Na 37 Ca 22}$ 10. $\frac{HCO_3 46 SO_4 36 Cl 17}{Mg 38 Na 34 Ca 34}$ 11. $\frac{HCO_3 44 SO_4 41 Cl 14}{Na 41 Mg 32 Ca 23}$ 12. $\frac{HCO_3 49 SO_4 36 Cl 14}{Na 37 Mg 31 Ca 28}$

13. $\frac{HCO_3 65 SO_4 22 Cl 13}{Mg 58 Na 25 Ca 15}$ 14. $\frac{HCO_3 48 SO_4 30 Cl 121}{Na 34 Mg 32 Ca 29}$ 15. $\frac{HCO_3 50 SO_4 31 Cl 19}{Mg 39 Na 38 Ca 20}$ 16. $\frac{HCO_3 64 Cl 27}{Na 74 Ca 13}$ 17. $\frac{HCO_3 76 SO_4 15}{Ca 40 Na 33 Mg 20}$ 18. $\frac{HCO_3 51 SO_4 30 Cl 18}{Na 61 Ca 26}$ 19. $\frac{Cl 72 SO_4 16 HCO_3 42}{(Na + K) 96}$

Примечание. Источники (см. рис. 4): 1 — Трещинный (Тр), 2 — Главный Грифон (Гл), 3 — Режимный (Р), 4 — Малахитовый (М), 5 — Крайний (Кр), 6 — Скальный (С), 7 — Нарзан Второй (Н2), 8 — Нарзан Первый (Н1), 9 — Нарзан Третий (Н3), 10 — Нарзан Четвертый (Н4), 11 и 12 — Нарзаны Нижние № 1 (левый выход) и № 2 (из ручья), 13 — Южный (Ю), 14 — Дальний (Д), 17 — Питьевой (П); 15 — р. Карымская, створ VII; 16 — р. Карымская, на истоке из оз. Карымского, 18 — снег (старый снежник возле источника Питьевого, средняя проба); (9) — источники Академии Наук. В воде источники: NH₄ — следы; CO₂ — 3,6 и 16,8 мг/л (ист. 1 и 5); Fe²⁺ — 6,1 мг/л (ист. 4); прочерк — не определялось. Даты отбора (1984 г.): (9) — VI (11, 12), 4.VII (17, 18), 7.VII (14), 10.VII (2, 4, 8), 12.VII (1, 3, 5—7, 9), 14.VII (10, 13, 15). Аналитик О. В. Шульга (Институт вулканологии ДВО АН СССР). * Пробы взяты в стеклянную посуду с соблюдением правил отбора на анализ углекислых вод, остальные — в полиэтиленовую посуду. ** — по данным [3]; *** — по данным [9].

Таблица 2

Газовый состав источников Карымских и Академии Наук

№ п/п	H ₂	O ₂	N ₂	Ar	CO ₂	CH ₄ ·10 ⁻⁴	C ₂ H ₄ ·10 ⁻⁴
<i>Спонтанный газ, об. %</i>							
1	0,002	0,54	22,4	0,277	76,7	90	0,18
2	—	0,21	4,6	0,071	93,1	14	—
3	—	0,08	12,8	0,135	86,9	16	—
4	—	0,11	9,1	0,132	90,7	21,5	—
7	—	14,7	62,0	1,33	21,7	1670	—
<i>Растворенный газ, об. % (верхняя строка), мл/л (нижняя строка)</i>							
1	0,001	0,28	5,03	0,049	94,6	13	0,1
	0,003	0,91	16,18	0,158	304,7	41,8	0,32
2	—	0,21	2,54	0,021	97,2	6,3	0,1
	—	0,73	9,03	0,075	345,2	22,3	—
4	0,0006	0,21	2,44	0,021	97,3	5	—
	0,002	0,69	8,16	0,070	324,8	16,7	—
5	—	1,76	8,44	0,063	89,7	0,42	0,28
	—	4,98	23,89	0,178	253,9	1,19	0,79
6	—	2,73	13,60	0,176	83,49	0,7	0,42
	—	4,52	22,58	0,291	138,6	1,16	0,69
7	—	9,24	42,93	0,864	46,93	220	—
	—	1,75	8,16	0,164	8,9	40	—

Примечание. 1 — Главный Грифон, 2 — Малахитовый, 3 — Трещинный, 4 — Режимный, 5 — Нарзан-1, 6 — Нарзан-2, 7 — Академии Наук (Восточная ванна). Пробы отобраны автором 10.VII.1984 г. (1, 2, 5), 12.VII.1984 г. (3, 4, 6), 30.VI.1984 г. (7). Анализы выполнены в Лаборатории вулканологии Института вулканологии ДВО АН СССР (аналитики В. И. Гусева, Е. Декштейн). Проверка — содержание ниже чувствительности прибора.

центрация Mg²⁺ выделяет эту воду в особый подтип редко встречающихся в природе магниевых углекислых вод [11, 15]. Вода условно названа «нарзаном».

По мере удаления от центральных участков разгрузки наблюдается снижение температуры источников и уменьшение их минерализации. Гидрохимический тип воды при этом остается почти неизменным (см. табл. 1), но в газовой фазе заметно повышается содержание N₂ и O₂ (см. табл. 2: H1, H2), что указывает на разбавление терм метеорной водой. Сильно разбавленные источники выводят воду с преобладанием в составе HCO₃⁻ и Na⁺.

Горячие нарзаны высаживают обильные железистые осадки (вес. %): SiO₂ — 26,78; TiO₂ — 0,0; Al₂O₃ — 2,64; Fe₂O₃ — 42,34; FeO — 0,91; MnO — 0,12; MgO — 0,93; CaO — 2,23; Na₂O — 0,68; K₂O — 0,24; H₂O⁻ — 10,88; H₂O⁺ — 7,37; P₂O₅ — 1,64; As₂O₅ — 0,44; п. п. п. — 2,24; ∑ — 99,44 (источник Малахитовый)⁵. По общему составу и повышенной концентрации фосфора и мышьяка эти осадки одинаковы с кремнисто-железистыми осадками из вод Дзензурских, Корякских и Аагских источников [12, 14], что указывает на близкие условия их формирования. Спектральным анализом в осадке определено (в %): *n* — P; *оп* — As, Ti; *о,оп* — Mn, Zr, Ba, Sr; *о,ооп* — V, Cr, Sc, Ga, Y, Ni, Cu, Mo; следы — Be, Ge, Zn, Co. Все элементы, как правило, сопутствуют метасоматитам из зон высокотемпературных гидротермальных систем [4].

Источники Академии Наук (малые Гейзеры) всеми исследователями считаются очагом разгрузки высокотемпературных Cl—Na-терм [3, 9,

⁵ Аналитик Г. Ф. Князева (Институт вулканологии ДВО АН СССР).

11; и др.]. По химическому типу они наиболее близки к кипящим источникам Долины Гейзеров [11, 13] и кальдеры Узон [4, 17], однако имеют меньшую минерализацию и отличаются очень низким газосодержанием (см. табл. 1, 2).

В газе источников определяется значительное количество O_2 . Мы склонны объяснить это явление близповерхностным подмешиванием к термальным струям метеорной воды, насыщенной воздухом. Глубинная часть газа без этой воздушной компоненты, по нашим расчетам, имеет углекисло-азотный состав (об. %): N_2 —60; CO_2 —37; Ar —0,9; CH_4 —0,3. Спонтанный газ содержит Rn — $260 \cdot 10^{-10}$ Ки/л [21]. Разгрузка гидротерм сопровождается обильным выпадением гейзерита и кремнисто-карбонатных осадков. Вмещающие породы, разнообразные туфы и эффузивы андезито-дацитового состава интенсивно гидротермально изменены.

На западной периферии участка Академии Наук обнаружен источник (температура 11° , минерализация—150 мг/л, дебит—десятки л/с), по химическому типу сходный с Карымскими теплыми «нарзанами», но с большим подмешиванием метеорной воды.

Водная разгрузка и вынос тепла

Значительная часть водной и тепловой разгрузки Карымской гидротермальной системы идет скрытым путем в грунтовые воды и болота в кальдере Карымской и в озеро кальдеры Академии Наук. Поэтому был применен гидрохимический метод расчета термоминеральной составляющей в водотоках, дренирующих очаги разгрузки, по характерным для термальных вод компонентам (в нашем случае Cl -ион). Расчеты проведены по формуле:

$$Q_T = \frac{Q_{см} \cdot c - Q_x \cdot b}{a - c} \quad \text{или} \quad Q_T = \frac{Q_{см} (c - b)}{a - c},$$

где Q_T , Q_x , $Q_{см}$ —расходы термальной, холодной и смешанной воды; a , b , c —концентрация элемента в термальной, холодной и смешанной воде, при $b=2$ мг/л, $T=2^\circ$.

Полученные характеристики температуры и дебита ручьев и реки отвечают периоду весеннего паводка.

Кальдера Академии Наук. Видимый дебит главного каскада источников Академии Наук ~ 25 л/с [9]. Кроме того, вблизи основных источников, а также в дне озера фиксируется рассредоточенная разгрузка терм. По концентрации Cl -иона в воде кипящих источников (355 мг/л), расходу реки, вытекающей из озера (2,7 м³/с), концентрации в ней Cl -иона (8,5 мг/л) вычислена разгрузка термальной воды в озеро. Она составляет 50 л/с, а вынос тепла 5 тыс. ккал/с, или 20 МВт.

Кальдера Карымская. По приведенным в табл. 3 расчетам суммарная разгрузка Карымских гидротерм, отвечающих по составу и температуре горячим «нарзанам», составляет не менее 770 л/с. Вынос тепла, измеренный по расходу и температурам поверхностных водотоков, оценивается в 38 тыс. ккал/с. Расчетный вынос тепла горячей минеральной водой—32 тыс. ккал/с. Полученные разными способами величины очень близки. Принимаем среднее значение 35 тыс. ккал/с, или 146 МВт.

В кальдере основная масса термальной воды (около 80%) разгружается на Западном и Центральном участках. Все восходящие источники Южной котловины и теплые «нарзанные» ручьи (Н1, Н2, Н3, Н4, НН), вытекающие из-под лав вулкана, выносят приблизительно равное количество термальной воды. Площади их разгрузки также близки (~ 1 км² каждая). Удельный вынос тепла на отдельных термальных участках оценивается следующими цифрами: Западный—618, Центральный—

Исходные данные расчета дебита и тепловой мощности термальных источников кальдеры Карымской (на 8 июля 1984 г.)

Участок разгрузки, гидрометрический створ (I—VIII, см. рис. 4), источники	Водотоки					Горячеводная составляющая, T=42°, Cl—240 мг/л		
	T, °C	расход, л/с	вынос тепла, тыс. ккал/с	Cl-ион		расход, л/с	вынос тепла	
				мг/л	г/с		тыс. ккал/с	%
Р. Карымская, I	3,5	2900	—	8,5	25	—	—	—
То же, V	8,5	5080	—	35	178	—	—	—
» VII	8	6700*	—	30	206	—	—	—
» VIII	—	7000*	—	—	217	—	—	—
Уч. Южный, II	17	170	2,5	42	7	30	1,3	4
Уч. Западный, III	18	720	11,5	100	72	294	12,3	38
То же, IV	19	330	5,6	62	20	82	3,5	11
Уч. Центральный, V—(I+II+III+IV)		960	9	—	54	216	9	28
Уч. Северный, VI	15	460	6	48	22	88	3,7	11
То же, ист. Левобережные	16—30	20	0,4	80—177	3	10	0,4	1
» , ист. Правобережные	13—35	30	0,4	20—98	3	8	0,4	1
Уч. Нижний, НН-ручьи	13—16	200	2,6	48	10	40	1,8	6
То же, ист. Дальние	6—8	30	0,2	22	0,6	2	0,2	—
В целом по кальдере (VIII—I)		4100	38,2	—	192	770	32,6	100

* Ориентировочная оценка.

470, Северный — 270, Нижний — 180, Южный — 98 Вт/м². Полученные цифры сопоставимы с известными оценками удельного выноса тепла для Узонских термальных полей [17].

Условия формирования термальных вод в кальдере Карымской

Геолого-структурные позиции и химический состав вод источников Карымских и Академии Наук, а также их тепловая мощность дают основание предположить, что в формировании Карымских гидротерм участвует глубинная компонента, близкая азотно-углекислым хлоридно-натриевым водам, типичным для высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки. Рассмотрим, исходя из этого предположения, процесс формирования Карымских термальных вод. Мы сделали оценку величины выноса минеральных компонентов источниками Карымскими и Академии Наук. Расчеты проведены по концентрации компонентов и расходу водотоков, дренирующих кальдеры, за вычетом минеральной нагрузки холодной воды. В табл. 4 сопоставлены суммарные величины химического выноса вещества гидротермами Академии Наук, Карымскими, Узонскими, Гейзерными и Семьячскими (с учетом их дебита). По величине выноса K⁺, Na⁺, Cl⁻, B, SiO₂—компонентов, характерных для вод высокотемпературных гидротерм, они оказались близки. В то же время Карымские источники, как и Нижнесемьячские, выносят значительно больше Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, HCO₃⁻. Нам представляется, что эта группа компонентов определяет вторую — «нарзанную» — составляющую гидротерм, формирующихся в кальдерах Карымская и Большой Семьячик в основном за счет инфильтрационных вод.

Зададимся целью определить количественные соотношения и химический состав смешивающихся на глубине высокотемпературной и «нарзанной» составляющих Карымских терм. Их суммарный дебит в очаге

разгрузки — 770 л/с (см. табл. 3). Гидротермы Академии Наук по химическому типу аналогичны Узонским и Гейзерным, но примерно в 2 раза, в пересчете на Cl-ион, разбавлены пресной водой. Гипотетический состав этой глубинной составляющей выражается формулой: $M_{2,2}Cl_{176}SO_4_{14}/Na_{91}K_5$; $SiO_2 > 400$ мг/л. Полагая, что состав глубинных гидротерм в недрах кальдеры Карымской аналогичен и, зная общий вынос Cl-иона источниками Карымскими и Академии Наук, можно подсчитать для них долю глубинной (Cl—Na)-составляющей. Получим соответственно 250 и 30 л/с. Тогда на долю «нарзанной» составляющей Карымских терм придется 520 л/с (см. табл. 4).

На основании дебита глубинной составляющей (250 л/с) и концентрации в ней каждого компонента минерализации определим их вынос этой составляющей. Вынос минеральных компонентов с «нарзанной» составляющей определяется по разности их общего и глубинного выноса. Концентрацию каждого компонента в «нарзанной» составляющей получаем делением величины его выноса на дебит (520 л/с). Химический состав вычисленной «нарзанной» компоненты Карымских терм выражается формулой: $M_{2,9}HCO_3_{60}SO_4_{40}/Mg_{58}Ca_{25}, Na_{15}$; $SiO_2 > 25$ мг/л. Близкий химический состав имеют известные на Камчатке горячие и теплые углекислые воды (магниевый подтип). Это Нижнесемячикские, Дзензурские, Изотовские, Аагские, Корякские источники [2, 12, 14] и некоторые другие. Вариации в их составе зависят от соотношения в них глубинной (вода — газ) и инфильтрационной составляющих. В Нижнесемячикских (см. табл. 4), а также, предположительно, и в Дзензурских термах, присутствует Cl—Na-высокотемпературная составляющая.

Намечается следующая схема формирования Карымских терм. Восходящий поток перегретых вод не выходит на поверхность, как в кальдере Академии Наук, в Долине Гейзеров или на Узоне, и не вскипает на глубине, образуя паровую «шапку», как на Большом Семячке, а поступает в верхний геотермальный резервуар, где смешивается с инфильтрационными водами, минуя фазу вскипания, преобразуется и разгружается в виде углекислых терм с температурами до 42°. Вероятно, в верхнем плейстоцене, до возникновения Карымского вулкана, Cl—Na-воды открыто разгружались в виде кипящих источников, сначала в кальдере Половинки, у южного подножия вулкана пра-Карымский, а затем в раннем голоцене, в кальдере Карымской, подобно современному проявлению парогидротерм в кальдере Узон [4, 17]. По мере наращивания лавового пьедестала и роста конуса в. Карымский в кальдере изменялись условия инфильтрационного питания и разгрузки подземных вод. Выходы термальных вод оказались «задавленными» холодными водами, формирующимися в теле новой вулканической постройки. Расчеты показывают, что не менее 20% этой воды уходит на глубинный сток. В отложениях, заполняющих кальдеру, высокотемпературные воды, насыщенные CO_2 и содержащие H_2S , вступают в контакт с холодной инфильтрационной, обогащенной кислородом воздуха водой, образуя агрессивную смесь с температурой ниже 100°.

Породы, по которым длительное время циркулируют высокотемпературные растворы, претерпевают гидротермальное изменение также с проявлением вертикальной метасоматической зональности [4, 16, 23]. В интервале верхних 300 м разреза метасоматитов, на разных уровнях, и особенно в субповерхностной (до 70—100 м) зоне аргиллизации (каолинитовой и монтмориллонитовой подзонах) происходит накопление Mg, Fe, Ca, Li, S. Преобразование их в новые минералы наступает при температурах 140—70°. Магнийсодержащие минералы (хлориты, монтмориллониты) образуют разного рода скопления в ассоциации с другими родственными минералами. Интенсивное выщелачивание минеральных новообразований в приповерхностной зоне аргиллизации начинается при действии на них водных растворов с температурой ниже 70°. Именно та-

Таблица 4

Вынос минеральных компонентов источниками Карымскими в сравнении с источниками Академии Наук, Долины Гейзеров, Узонскими и Нижнесемячичскими

Источники	Вынос компонентов, г/с										Дебит, л/с		
	K+	Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₃ BO ₃	H ₄ SiO ₄	Всего	I	II	III
Академии Наук *	2	14	0,5	0,1	20	6	5	3	14	64	30		
Карымские *, в т. ч. Cl—Na-составляющая	28	208	96	132	186	435	756	11	206	2058	250	520	770
«Нарзанная» составляющая	14	142	5	0,5	185	46	42	11	186	632	250		
Долины Гейзеров **	14	66	91	131	1	389	714	0	20	1426		520	
Узонские ***	14	138	6	1	200	35	22	28	96	540	275		
Нижнесемячичские ****	10	83	21	2	76	104	68	20	40	424	100	70	170
	10	30	50	22	40	127	107	—	48	434	55	110	165

Соотношения в выносе компонентов, дебите

Карымские к источникам Долины Гейзеров	2,0	1,5	16	132	0,9	12,4	34	0,4	2,1	3,8	0,9		
Карымские к Узонским	2,8	2,5	4,5	66	2,4	4,2	11	0,5	5,1	4,8	2,3		
Карымские к Нижнесемячичским	2,8	6,9	1,9	6	4,6	3,4	7	—	4,3	4,7	4,5	4,7	4,6

Примечание. I — глубинная (Cl—Na) и II — «нарзанная» (инфильтрационная) составляющие гидротерм; III — термальная вода смешанного состава (разгрузка источников).

* см. табл. 1, 3; ** по данным [24]; *** — по данным [17]; **** — по данным [2].

кая геохимическая обстановка и могла возникнуть в очаге разгрузки Карымских гидротерм. В интервале глубин (до 100—300 м) метасоматиты оказались в иных, изменившихся низкотемпературных условиях, что привело, в частности, к выносу термальной водой Mg и Ca, Fe и S, а возможно, Li и P из зон накопления при минералообразовании в предшествующие более высокотемпературные стадии метасоматоза. Такая трактовка механизма формирования Карымских гидротерм находит подтверждение и в показаниях геотермометров (рис. 5).

Первоначальным источником магния могут быть мегалагиофировые и оливиновые базальты ($N_2^2-Q_1$), получившие в районе широкое площадное развитие [3, 5, 8]. Не исключена возможность выщелачивания части магния метеорными водами из лавопирокластических образований постройки в. Карымский.

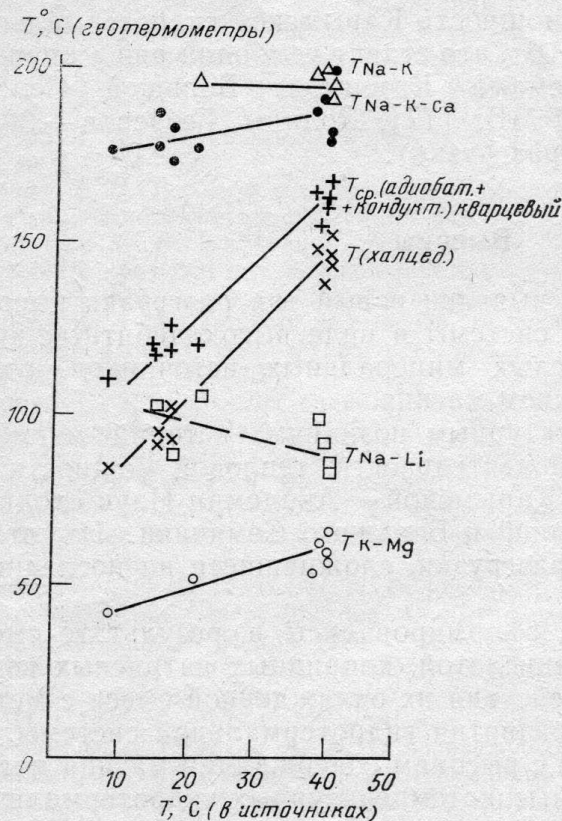


Рис. 5. График зависимости между показаниями геотермометров и температурой воды в исследуемых источниках. Расчеты глубинных температур произведены по программе «Геотерм» [26], дополненной и реализованной на ЕС-1033 Ю. А. Гараном (Институт вулканологии ДВО АН СССР)

Общий вынос минеральных солей Карымскими источниками составляет около 2 кг/с, или 62 тыс. т. в год (см. табл. 4). Если Карымская гидротермальная система в таком же режиме работает 5000 лет, то из недр кальдеры термальными водами вынесено не менее 300 млн. т растворенного вещества ($0,1 \text{ км}^3$ по объему), что может влиять на ход современных подвижек основания в. Карымский.

Показания геотермометров (см. рис. 5) не позволяют однозначно оценить температуру Карымских гидротерм в области их формирования. Разные геотермометры, для наиболее характерных источников, дают значения температур от 50 до 200° . Попробуем определить привнос тепла в зону формирования гидротерм глубинной (Cl—Na)-составляющей. При прогнозной температуре теплоносителя 250° [20] и дебите его 250 л/с (см. табл. 4) привнос тепла в зону формирования Карымских гидротерм составляет не менее 60 тыс. ккал/с, или 250 МВт. По измерениям на поверхности вынос тепла Карымскими источниками определен в 35 тыс. ккал/с. Разницу между измеренным и рассчитанным выносом тепла надо объяснять теплопотерями по пути движения терм и тепло-

отдачей с открытых водных и перекрывающих очаг разгрузки лавовых поверхностей.

При дебите глубинной составляющей гидротерм Академии Наук 30 л/с и температуре теплоносителя 250°, тепловая мощность этого участка системы оценивается в 7,5 тыс. ккал/с, или 30 МВт.

Определение тепловых параметров глубинного теплоносителя возможно и по модели смешения для кипящих источников с построением соответствующих (SiO₂-хлоридно-энтальпийных) диаграмм. Рассчитанные таким методом глубинные температуры для гидротерм Академии Наук составляют 240—285°, а концентрация хлор-иона в этом растворе определяется в 1,0 г/л. Используя эти параметры получаем прогнозную тепловую мощность Карымской гидротермальной системы, близкую 50 тыс. ккал/с (~220 МВт). Двумя методами получены почти одинаковые величины тепловой мощности.

Таким образом, тепловая мощность Карымской гидротермальной системы в целом близка к 250 МВт, что ставит ее в один ряд с крупнейшими гидротермальными системами Камчатки: Большой Семячик — 310 МВт [2], Узонская — 270 МВт [17], Долины Гейзеров — 300 МВт [13] (в естественном режиме разгрузки).

Выводы

1. В кальдере Карымской выявлен новый тип разгрузки высокотемпературной гидротермальной системы в виде высокодебитных низко- и среднетемпературных углекислых минеральных источников, отличающихся повышенным содержанием магния.

2. По общим геолого-структурным позициям, истории магматизма, вулканизма, гидротермальной деятельности, тепловой мощности гидротермальная система кальдер Карымской — Академии Наук сходна с системами кальдер Узон-Гейзерной и Большого Семячика. Их отличают гидрогеологические условия разгрузки, сложившиеся на последнем этапе развития (в голоцене).

3. Карымские «нарзаны» сформировались в результате смешения глубинных, насыщенных углекислотой, хлоридных натриевых вод с инфльтрационными и взаимодействия их охлажденной смеси с метасоматитами предыдущих этапов развития гидротермальной системы.

4. Углекислые гидротермы с высоким содержанием магния могут служить поисковым признаком высокотемпературных гидротермальных систем. По этому признаку можно прогнозировать существование таких систем под вулканом Дзензур, у северного подножия вулканов Ааг и Арик. Подобные группы источников известны и в других районах Камчатки.

5. Исследования Карымских источников проведены в момент покоя в Карымский и можно полагать, что полученные характеристики отражают соответствующее состояние гидротермальной системы в области очага разгрузки. Влияние процессов, происходящих в недрах в. Карымский, при его активизации, на состояние системы весьма вероятно.

Автор благодарит Е. А. Вакина, Б. В. Иванова и А. М. Чиркова за полезные дискуссии при подготовке статьи, наблюдателей Карымской геофизической обсерватории Е. И. Хименко и Е. П. Токарева — за помощь в проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В. И., Гриб Е. Н., Леонов В. Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон//Вулканонология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65—79.
2. Вакин Е. А. Гидротермы вулканического массива Большой Семячик//Гидротермаль-

- ные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 212—236.
3. *Влодавец В. И.* Вулканы Карымской группы//Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 3—46.
 4. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 260 с.
 5. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука, 1980. 300 с.
 6. *Ермаков В. А., Цикунов А. Г., Черных Е. А.* Новая концепция тектоники и вулканизма Восточной Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1984. № 4. С. 50—66.
 7. *Зубин М. И., Иванов Б. В., Штейнберг Г. С.* Глубинное строение Карымского вулкана на Камчатке и некоторые вопросы кальдерообразования//Геология и геофизика. 1971. № 1. С. 73—81.
 8. *Иванов Б. В.* Извержение Карымского вулкана в 1962—1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 135 с.
 9. *Иванов Б. В.* Современная гидротермальная деятельность в районе вулканов Карымской группы//Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 32—37.
 10. *Иванов Б. В., Шувалов Р. А.* Современная гидротермальная деятельность в районе Карымского вулкана//Бюл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 65—68.
 11. *Иванов В. В.* Основные закономерности распространения и формирования термальных вод Дальнего Востока//Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: Трансжелдориздат МПС, 1960. С. 171—262.
 12. *Комкова Л. А.* Вулканогенное образование фосфатов//Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 44—53.
 13. *Кононов В. И.* Влияние естественных и искусственных очагов тепла на формирование химического состава подземных вод. М.: Наука, 1965. 146 с.
 14. *Масуренков Ю. П., Комкова Л. А., Пузанков М. Ю., Егорова И. А.* Структурно-вещественные критерии для поисков термальных вод в районе г. Елизово на Камчатке//Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 19—36.
 15. *Овчинников А. М.* Условия формирования месторождений углекислых вод//Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: Трансжелдориздат МПС, 1960. С. 12—35.
 16. *Пампура В. Д.* Геохимия гидротермальных систем областей современного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1985. 136 с.
 17. *Пилипенко Г. Ф.* Парогидротермы кальдеры Узон//Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 237—266.
 18. *Попруженко С. В., Апрельков С. Е., Ольшанская О. Н.* Восточно-Камчатский вулканический пояс в свете геофизических данных//Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 14—24.
 19. *Сапожникова Е. Н., Шилин Н. Л.* Рудоконцентрирующие структуры в системе сквозных линейментов Северо-Востока Азии//Рудоконцентрирующие структуры Азии и их металлогения. М.: Недра, 1983. С. 56—118.
 20. *Сугробов В. М.* Геотермальные энергоресурсы Камчатки и перспективы их использования//Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 267—281.
 21. *Сугробов В. М., Чирков А. М.* О распределении радона в современных гидротермальных системах Камчатки//Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 22—23.
 22. *Троицкий В. Д.* Краткий геоморфологический очерк района Карымского вулкана//Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 49—88.
 23. *Трухин Ю. П., Петрова В. В.* Некоторые закономерности современного гидротермального процесса. М.: Наука, 1976. 176 с.
 24. *Трухин Ю. П., Шувалов Р. А.* Современный гидротермальный процесс в эволюции вулканизма. М.: Наука, 1979. 135 с.
 25. *Хренов А. П., Дубик Ю. М., Иванов Б. В. и др.* Эруптивная деятельность вулкана Карымский за 10 лет (1970—1980 гг.)//Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 29—48.
 26. *Truesdell A.* Geotherm'a Geothermometric Computer Program for Hot-Spring Systems//Proc. 2-nd U. N. Symp. Develop. Use of Geotherm. Resources. San-Francisco. 1975. V. 1. P. 831—836.

Институт вулканологии
ДВО АН СССР

Поступила в редакцию
3.VI.1988