

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕРМАЛЬНЫЕ ПОЛЯ КАМЧАТКИ 1976

ГИДРОТЕРМЫ КОШЕЛЕВСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА

Е. А. Вакин, З. Б. Декусар, А. И. Серезников, М. В. Спиченкова

Кошелевский вулканический массив расположен на юге Камчатки, у Охотского побережья. Это вытянутый в широтном направлении скалистый хребет, состоящий из нескольких слившихся и сильно разрушенных стратовулканов. На западном склоне и в западном эрозионном кратере находятся два очень крупных термальных поля: Нижнекошелевское и Верхнекошелевское, где на относительно малой площади сосредоточено множество мощных газопаровых струй. На склонах и у подножия массива в глубоких врезках речных долин наблюдаются небольшие термальные источники. По выносу тепла, интенсивности и концентрированности гидротермальной деятельности с Кошелевским массивом на Камчатке может соперничать только Долина Гейзеров и такие действующие вулканы, как Мутновский и Шивелуч.

Кошелевские термальные поля отстоят от Паужетских кипящих источников на 12—18 км по прямой, и это обстоятельство служило дополнительным поводом для изучения Кошелевских гидротерм на протяжении всей истории освоения Камчатки. Из работ, сохранивших ценность до наших дней, следует отметить описание Верхнекошелевских терм, сделанное К. Д. Дитмаром в 1901 г., гидрогеологические наблюдения Б. И. Пийпа в 1937 г. и Г. А. Гонсовской (1954) на Нижнекошелевских и Сивучинских источниках. Наиболее подробное описание строения вулканического массива, характера термопроявлений, химического состава вод, горных пород и минеральных новообразований сделаны С. И. Набоко (1954). Сведения о строении вулканов содержатся в работе В. В. Аверьева и А. Е. Святловского (1961).

В. В. Аверьевым (1965) дана первая оценка тепловой мощности термальных полей и высказано предположение о «вторичном» характере Кошелевских паровых струй. К началу наших исследований было установлено, что Кошелевский массив и соседние вулканические постройки располагаются в крупной структурной депрессии, открытой в сторону моря; отмечено сложное строение, различный состав пород и возраст вулканов, слагающих Кошелевский массив. Термальные поля большинством авторов рассматривались как фумарольные, поствулканические (по С. И. Набоко, гидросольфатарные). По химическому составу Кошелевские гидротермы отнесены В. В. Ивановым (1958) к группе фумарольных, поверхностного формирования. Суммарный вынос тепла оценивался в 26 600 ккал/с.

В 1966—1967 гг. экспедицией Института вулканологии под руководством Е. А. Вакина предпринято детальное изучение термальных полей Кошелевского массива. Основной задачей исследований явилось определение перспектив использования Кошелевских парогидротерм для целой геотермальной энергетики. Измерена величина естественного выноса тепла, выявлены вариации температур и химического состава газопаровых струй и горячих источников на Верхнекошелевском и Нижнекошелевском участках. Полученные данные указывали на гидротермальный (вторичный) характер паровых струй и позволили предположить существование в недрах массива крупного месторождения подземного тепла, превосходящего по ресурсам и тепловым параметрам Паужетское месторождение. В 1968—1970 гг. Камчатским территориальным геологическим управлением проведена комплексная геолого-гидрогеологическая съемка района массива (масштаб 1:50000) и геофизические исследования на участках, прилегающих к Нижнекошелевским термам. Были получены данные, позволившие с большой достоверностью расшифровать геологическое строение и гидрогеологическую обстановку района, обнаружены новые термопроявления и гидрохимические аномалии. Все это дало возможность выявить контуры гидротермальной системы Кошелевского массива и определить участки для буровой разведки. Скважины, бурение которых начато в 1971 г., вывели пар с глубин 170 и 700 м и подтвердили прогнозы, сделанные в результате поисковых и съемочных работ.

Геологическое строение

Геологическое формирование района, прилегающего к Кошелевскому массиву, начиная, по меньшей мере, с верхнего миоцена до настоящего времени, было связано с вулканизмом. Район представляет собой мозаику из раздробленных блоков разновозрастных вулканов, частично перекрывающихся отложениями молодых построек (рис. 1).

Основными структурными единицами района являются нижнечетвертичные вулканические постройки Третья Речка, Дед и Баба и Кошелевский массив, развитие которого продолжалось от среднего плейстоцена до голоцена. Фундаментом четвертичных вулканов служит миоцен-плиоценовая толща, состоящая из андезитовых лав и в значительно меньшем количестве лавобрекчий, туфов, туфобрекчий. Нижнечетвертичные вулканы плохо выражены в современном рельефе.

Вулкан Третья Речка, расположенный северо-западнее Кошелевского массива, представляет собой руины довольно крупной вулканической постройки, ее центральная и восточная части разрушены и частично перекрыты лавами Кошелевских вулканов. В ядре периклиналной структуры обнажены плиоценовые лавы. Потоки лав, слагающих массив,

имеют довольно крутое падение ($20\text{--}25^\circ$) в центральной части и лежат почти горизонтально на периферии. Низы постройки сложены агглютинатами андезитобазальтового состава и шлаками с подчиненным количеством лав андезитобазальтов, андезитов, долерит-базальтов. В верхних частях вулкана резко преобладают эффузивы примерно того же состава. В целом объем пирокластике несколько превышает 10% объема всех отложений вулкана. Суммарная мощность отложений 1100—1300 м.

Вулкан Дед и Баба сохранился в виде остатков слоистого конуса с обширной эрозионной выемкой в северо-восточной стороне, отчасти заполненной Кошелевскими лавами. Крутые склоны западной части постройки, рассеченные глубокими радиальными распадками, выходят отвесными обрывами к берегу моря. Более древняя юго-восточная часть напоминает по морфологии отлогий слабодифференцированный массив Третья Речка. В ядре структуры обнаружены вулканиды плиоценовой толщи, прорванные субвулканическими интрузиями долеритов.



Рис. 1. Схематическая карта геологического строения и термопроявлений Кошелевского вулканического массива (составили А. И. Сережников, М. В. Спиченкова, З. Д. Декусар): 1, 2— эффузивные и пирокластические образования нижнечетвертичных вулканов: 1—вулкан Дед и Баба ($\alpha\beta Q_1$), 2—вулкан Третья Речка ($\alpha\beta Q_1$); 3-8 — эффузивные и пирокластические образования Кошелевского вулканического массива: 3 — вулкан Древний (βQ_{II}), 4 — вулкан Западный (αQ_{III}^I), 5—вулкан 1545 (αQ_{III}^2), 6— вулкан Восточный (βQ_{III-IV}), 7 — вулкан Центральный ($\alpha\beta Q_{III-IV}$), 8 — образования Активного кратера: а) лавовые потоки (βQ_{IV}), б) отложения направленного взрыва (Q_{IV}); 9 — рыхлые отложения различного генезиса (Q_{II-IV}); 10 — экструзии голоценового возраста: а) андезито-дацитов и дацитов ($\alpha\gamma Q_{IV}$), б) базальтов (βQ_{IV}); 11—субвулканические интрузии долеритов (βQ_{III-IV}); 13 — дочетвертичные эффузивы ($\alpha N_1\text{—}N_2$); 14 — разрывные нарушения: а) прослеженные и дешифрованные по аэрофотоснимкам, б) под рыхлыми

отложениями; 15 — а) кальдеры, б) эродированные кратеры и воронки взрывов; 16 — кратеры эффузивных и шлаковых конусов; 17 — термальные поля (парогидротермы); 18 — термальные источники.

Древние части четвертичной постройки сложены агглютинатами, шлаками, туфами с небольшими потоками лав андезитового и андезито-базальтового состава. Эта пачка перекрывается андезитовыми лавами. Более молодые части массива состоят главным образом из пород базальтового состава. Здесь преимущественно эксплозивные образования (агломераты, шлаки, агглютинаты) также сменяются лавами базальтов и андезито-базальтов с небольшим количеством пироклаستيки. Общая мощность вулканитов Деда и Бабы 1300—1400 м.

Кошелевский вулканический массив состоит из нескольких разрушенных в различной степени вулканов, экструзивных куполов и отпрепарированных эрозией субвулканических тел. Наиболее крупными элементами массива являются вулканы Древний (βQ_{II}), Западный (αQ_{III}), Валентин (αQ_{III}^2), Центральный ($\alpha\beta Q_{III-IV}$), Восточный (βQ_{III-IV}), Активный кратер (βQ_{IV}) (см рис. 1).

Вулкан Древний по строению очень похож на нижнечетвертичные постройки. Вблизи его центральной части лавовые потоки залегают с большим наклоном, а на периферии склоны напоминают эффузивные плато. Вулкан сложен базальтовыми и андезитовыми лавами и лавобрекчиями, перекрывающимися агглютинатами и шлаками, которые вновь сменяет преимущественно эффузивная пачка пород (лавы базальтов и андезито-базальтов с линзами пироклаستيки).

Западный вулкан отличается по строению от остальных. Он сложен почти горизонтальными потоками лав. Пологий конус вулкана состоит из лав андезитов и андезито-дацитов, а плато в его более древней западной части — из пород базальтового и андезито-базальтового состава. Вулкан Валентин наложен на центральные части Древнего вулкана. В его сильно эродированном конусе переслаиваются эффузивные и пирокластические образования, состав изменяется от андезито-дацитового до базальтового. Вулкан Центральный асимметричен. На месте его кратера и южных склонов образовалась большая эрозионная котловина, в бортах которой хорошо видны прослои андезито-базальтовых лав, лавобрекчий, туфобрекчий, слагающих вулкан. Вулкан Восточный синхронен с Центральным, но сложен вулканитами более кислого состава, и его деятельность угасла несколько позже.

В результате взрыва вблизи вершины Восточного вулкана возник Активный кратер. Сохранилась его южная стенка. После взрыва кратер стал центром современного излияния лав оливиновых базальтов, потоки которых спустились на три километра на

север. В нем возник конус глыбовой лавы, являющийся основной вершиной Кошелевского массива. С Активным кратером связаны и отложения направленного взрыва на юго-восточном склоне. Вся средняя часть Кошелевского массива образована экструзиями андезито-дацитов голоценового возраста и субвулканическими интрузиями долеритов. Они слагают центральные части вулканов Валентина, Древнего и Центрального. На субвулканических образованиях кратерной зоны вулкана Валентин располагается Верхнекошелевское термальное поле.

На участках, прилегающих с севера к вулкану Третья Речка, широко распространены кислые вулканические продукты: лавы, туфолавы и игнимбриты липаритового состава средне-верхнечетвертичного возраста. Видимая мощность липаритовой толщи 100 м. Эти отложения образованы в результате трещинных извержений, происходивших, по-видимому, в зоне крупного тектонического шва северо-западного простирания. Рыхлые отложения склонов вулканов, речных долин и межгорных котловин представлены аллювиальными галечниками и гравелитами, ледниковыми валунниками, галечниками и песками, озерными глинами и пеплами, пролювиальными валунниками, дресвой, местами сцементированными лимонитовым цементом.

Одной из главных особенностей тектоники района является интенсивное дробление на границах крупных вулканических построек, в результате которого Кошелевский массив и нижнечетвертичные вулканы стали блоками, обособленными друг от друга и от сопредельных структур. «Внутрискрутурная» тектоника каждого блока имеет свои особенности. Так, в нижнечетвертичных эродированных массивах тектонические трещины развиты главным образом в центральных частях вулканов, где обнажены наиболее древние отложения, а периферийные части, сложенные более молодыми вулканитами, раздроблены значительно меньше.

Кошелевский массив, несмотря на свой молодой возраст, очень интенсивно раздроблен как в центральных частях, так и на склонах. Это объясняется многократным перемещением эруптивных центров. Последовательное компенсационное погружение отдельных частей массива привело к возникновению кольцевых и радиальных разломов вулканотектонического характера. Кольцевые разломы создают своеобразную полосу северо-западной ориентировки на южных и западных склонах массива и образуют уступы сложной и неясно выраженной кальдеры Западного вулкана. Массив пересечен серией прямолинейных субширотных разломов глубокого заложения. Вдоль них происходила миграция центров вулканической деятельности, и с ними же связаны выходы парогидротерм и небольших термальных источников. Кроме того, Кошелевский массив и

примыкающие структуры пересекаются крупными тектоническими нарушениями регионального масштаба, уходящими далеко за предел района.

От мыса Сивучьего на северо-восток протягивается зона, состоящая из крутопадающих трещин и разломов, пересекающих и продолжающих друг друга. Ширина зоны доходит до 2,5 км, к ней приурочены гидротермально измененные породы плиоценовой толщи, обнажающиеся в центральных частях вулканов Дед и Баба и Третья Речка. Вдоль северо-восточной границы Кошелевского массива с толщиной миоцен-плиоценовых вулканитов протянулась серия крупных сбросов, с которыми связаны трещинные излияния липаритов. На 40—45 км тянется Большой кольцевой разлом. Перемещения по нему, по-видимому, часто меняли направления.

Для геологического строения района характерно широкое распространение гидротермально измененных пород, формаций вторичных кварцитов, пропилитов и сольфатарно измененных пород. Первые две формации связаны исключительно с дочетвертичными образованиями. Вторичные кварциты слагают ядра вулканов Дед и Баба и Третья Речка. Монокварциты и алунитовые кварциты вулкана Третья Речка несут серное оруденение. Поля вторичных кварцитов окаймлены пропилитами. Сольфатарным изменениям подвержены привершинные части вулканов Валентин и Центральный. Измененные породы имеют здесь сложный состав: опалиты, алуниты, каолиниты, монтмориллониты. С сольфатарными полями связаны высыпки самородной серы. Примечательна близость современных термальных полей Верхнекошелевского и Нижнекошелевского к участкам более древних измененных пород.

Гидрогеологическая обстановка

В окрестностях Кошелевского вулканического массива могут быть выделены три водоносных комплекса, отличающиеся по обводненности, фильтрационным и геохимическим свойствам пород: 1—плиоценовых эффузивов, субвулканических интрузий и туфов; 2 — четвертичных эффузивно-пирокластических отложений; 3 — рыхлых отложений. Породы первого комплекса, состоящие в основном из андезитовых лав, которые почти повсеместно подвергались тектоническому дроблению и на многих участках затронуты гидротермальными изменениями, распространены во всем районе. Они везде, кроме глубоких эрозионных врезов, перекрыты более молодыми отложениями и отделены от них корой выветривания. Благодаря литофикации, гидротермальной переработке и заполнению трещин минеральными новообразованиями проницаемость отложений комплекса очень низка. Водопроводящими являются только открытые разломы, не заполненные топкими продуктами дробления. Обычно это радиальные по отношению к вулканическим постройкам трещинные зоны.

Можно ожидать, что крупные вулканические структуры района гидрогеологически обособлены друг от друга. Они разделены тектоническими зонами, водопроницаемость которых низка благодаря неоднократным блоковым подвижкам, сопровождавшимся дроблением и мелонитизацией пород. По этим ослабленным участкам выработаны глубокие ущелья и долины рек, по-видимому, служащие областями разгрузки наложенных бассейнов подземных вод, заключенных в вулканических структурах.

Иной характер имеет тектоническая трещиноватость центральных частей вулканов, обусловленная напряжениями, сопутствовавшими вулканическим и магматическим процессам. Ядра вулканических построек интенсивно раздроблены открытыми трещинами. Эти участки обладают наиболее благоприятными для выхода на поверхность парогидротерм свойствами. Именно к ним приурочены термально измененные породы вулканов Дед и Баба, Третья Речка и современные Верхнекошелевские термальные поля. Интенсивная гидротермальная переработка пород наложила отпечаток на химический состав подземных вод первого водоносного комплекса: они сульфатные и в большинстве случаев более минерализованные, чем воды остальных комплексов (табл. 1).

Таблица 1 Гидрогеологическая характеристика водоносных комплексов

Комплекс	Литологический состав и максимальная мощность, м	Преобладающий модуль подземного стока, д/с-км ²	Преобладающие температуры источников, °С	Основные компоненты минерализации вод	Преобладающие величины минерализации вод, мг/л
III рыхлых отложений	Валунники, гравий, пески, суглинки, глины, вулканические пеплы, до 150 м	4	3—4	$\text{Cl} \gtrsim \text{HCO}_3$ $\text{Ca} \gtrsim \text{Na}$	50—100
II четвертичных эффузивно-лифокластических отложений	Андезитовые и андезито-базальтовые лавы, агломераты, туфы сильно трещиноватые, до 1500 м	4—12	3—4	$\text{Cl} \approx \text{HCO}_3$ $\text{Ca} \approx \text{Na}$	50—100
I плиоценовых эффузивов, туфов и субвулканических интрузий	Гидротермально измененные андезитовые лавы, лавобрекчии, долеритовые базальты, до 1200 м	12	4—5	SO_4 $\text{Ca} \approx \text{Na}$	200—250

Второй водоносный комплекс сложен преимущественно потоками четвертичных лав с исключительно высокой трещиноватостью (коэффициент трещиноватости 0,4—7,0%) и в меньшей степени пачками агглютинатов и туфов со значительно меньшей водопроницаемостью. Коллекторские свойства пород обусловлены совмещением трещин выветривания, литогенетических и тектонических, причем открытые тектонические трещины не повышают и без того очень высокую водопроницающую способность молодых вулканических отложений. Региональные зоны дробления, надвиги и некоторые разломы с неоднократными смещениями так же, как и в нижележащем комплексе, иногда играют роль водонепроницаемых экранов, и с ними связаны участки линейной разгрузки подземных вод. Породы комплекса перекрывают фундамент почти на всей территории района. Они слагают конусы вулканов и платообразные водораздельные массивы,

являющиеся областями питания подземных вод. Породы хорошо промыты на всю глубину, обводнены только там, где нет условий для интенсивного стока.

Заключенные в них воды отличаются очень низкой минерализацией и дренированы в пределах обособленных возвышенных участков.

Третий (верхний) водоносный комплекс представлен рыхлыми отложениями, развитыми иногда на значительных площадях, и отличается от остальных норовой циркуляцией вод. Водообильность пород, как и литология, весьма разнообразна.

На юге Камчатского полуострова в горных районах выпадает до 4500 мм осадков в год, из них более 50% — в виде снега. На большей части Кошелевского массива снег лежит с середины октября до середины июля. Этим объясняется неравномерный сток, а также промытость и сильное охлаждение зоны интенсивного водообмена. В табл. 1 сведены основные характеристики описанных комплексов, статистически рассчитанные по данным гидрогеологической съемки.

Тепловые аномалии

В предыдущем разделе охарактеризована гидрогеологическая обстановка, возникшая под влиянием экзогенных факторов, т. е. нормальный гидрогеологический фон района. Он довольно обычен для вулканической зоны юга Камчатки. Специфика же окрестностей Кошелевского массива обусловлена гидродинамическими, гидрохимическими и тепловыми искажениями нормального фона — аномалиями, вызванными локальным внедрением глубинного теплоносителя.

В пределах Кошелевского массива и у его подножий известно несколько термоаномалий, причем две из них очень крупные: Верхне- и Нижнекошелевские парогидротермы (см. рис. 1, № 1, 2). Издавна известны также Сивучинские горячие источники (№ 3). Остальные слабые тепловые и гидрохимические аномалии — источники Промежуточный (№ 4), Шумный (№ 5), Кальдерный (№ 6), Сказка (№ 7) — обнаружены в 1970—1971 гг. во время съемочных работ. Все эти термопроявления расположены на западном склоне массива. Имеются также теплые источники у его восточного подножия, на перемычке между Кошелевским и Камбальным вулканами (Медвежьи источники). Их связь с термами западного склона не ясна.

Верхнекошелевское поле. Верхнекошелевские термы, известные у местного населения как Гремучие Ключи, вполне оправдывают это название, поскольку от всех остальных термальных полей Камчатки отличаются большим числом очень мощных газопаровых струй, которые вырываются из расщелин с громким свистом и грохотом. В тихую погоду столб пара над термальными площадками поднимается выше вершин массива и виден за десятки километров.

Термальное поле расположено в северо-западной части хребта Кошелевского массива в большой эрозионной котловине на отметках около 1250 м. Котловина окружена с трех сторон островерхими скалистыми гребнями с многолетними снежниками на крутых стенках, ее дно относительно полого лишь в местах выхода терм. Сильно прогретые участки свободны от снега в течение всего года. В конце зимы они окружены снежными стенами высотой до 5 м. Поле почти сплошь завалено обломками и глыбами пород, упавшими или сползшими целыми блоками со стенок котловины. Лишь в западной части его наблюдаются коренные выходы каолинитизированных пород, сохранивших первоначальную структуру.

Участок выхода гидротерм имеет весьма сложное геологическое строение. В среднеплейстоценовое время здесь находилась центральная часть вулкана Древнего, в верхнем плейстоцене где-то здесь же был кратер вулкана Валентин, наложившегося на Древний, затем в ядре вулканов Древний, Валентин и Центральный произошла многофазная субвулканическая интрузия долеритов, и, наконец, в голоценовое время у северо-восточного контакта интрузии образовался крупный экстрезивный купол — Пестрый пик, являющийся одной из вершин Кошелевского хребта. Экструзия имеет веерообразное строение и сложена относительно кислыми породами — андезито-дацитами. Современные термальные поля располагаются у подножия экструзии. Весь этот участок находится в зоне крупного субширотного разлома глубинного заложения, с которым, видимо, связаны и многие вулканические центры Кошелевского массива.

В районе Верхнекошелевских терм образовалось обширное поле интенсивной тектонической и вулcano-тектонической трещиноватости. С его контурами совпадают границы распространения термально измененных пород, занимающих площадь во много раз большую, чем современные термопроявления. Большие участки склонов котловины и целые вершины хребта сложены измененными породами, окрашенными в ярко-желтые, оранжевые и красные тона. Среди них на современных термальных площадках преобладают каолинитизированные и аргилитизированные породы, а за их пределами — алуныты и опало-алуныты. Это свидетельствует об интенсивной гидротермальной деятельности в недалеком прошлом.

Площадь Верхнекошелевского термального поля по изотерме $+20^{\circ}$ на глубине 0,5 м составляет 303000 м² (рис. 2). Поле наклонено на запад, разница высотных отметок в его пределах составляет 40—50 м. Оно пересечено двумя крупными ручьями, вытекающими из-под снежников, и множеством мелких ручейков, берущих начало в горячих водоемах, заболоченных участках и термальных источниках на самом поле. Наиболее характерной формой термопроявлений на Верхнекошелевском поле являются мощные струи

перегретого пара. Таких струй с расходом от 0,1 до 0,4 кг/с, температурой 120—153° и скоростью истечения пара выше 100 м/с насчитывается более 40. Почти все они сосредоточены в крутом овраге у западной границы поля (участок Тартарары). Размеры участка всего 150X40 м², но здесь кипит и парит вся поверхность. Некоторые струи выбивают прямо в русле ручья, образуя фонтаны высотой до 3 м. Ручей, протекающий через участок, нагревается до 78° при расходе 28 л/с. Количество более мелких паровых струй на термальном поле исчисляется сотнями. Приблизительной границей их распространения служит изотерма +70° на глубине 0,5 м.

Там, где паровые струи заливаются поверхностными водами или собственным конденсатом, образуются кипящие воронки и небольшие озера. Сначала в них кипит прозрачная вода, затем, по мере гидротермальной переработки пород дна и стенок, эти водяные кипящие воронки превращаются в грязевые котлы, которые, в конце концов, самозакупориваются вязкой глиной. Иногда на их месте появляются грязевые вулканчики. Такая эволюция происходит довольно быстро, в течение 3—5 лет. Так, за время с 1967 по 1970 г. произошло заметное уменьшение активности участка Полигон (участок с несколькими, кипящими озерами на юге поля, см. рис. 2), где газопаровая струя с температурой 137° превратилась в кипящую водяную воронку, а некоторые крупные воронки, ранее заполненные слегка мутной водой, стали типичными грязевыми котлами. Прекратил существование грязевой котел Негр в северном конце участка Тартарары. В то же время активизировался участок Кислый, где среди крупных каменных глыб пробилась мощная струя пара. На всех участках отмечается интенсивное рассредоточенное парение. Особенно хорошо оно заметно в местах, где поверхность сложена глинистыми породами. С квадратного метра пропаренного грунта выносятся до 0,8—1,0 л/с пара. Большие прогретые площади дают значительные величины выноса тепла и вещества.

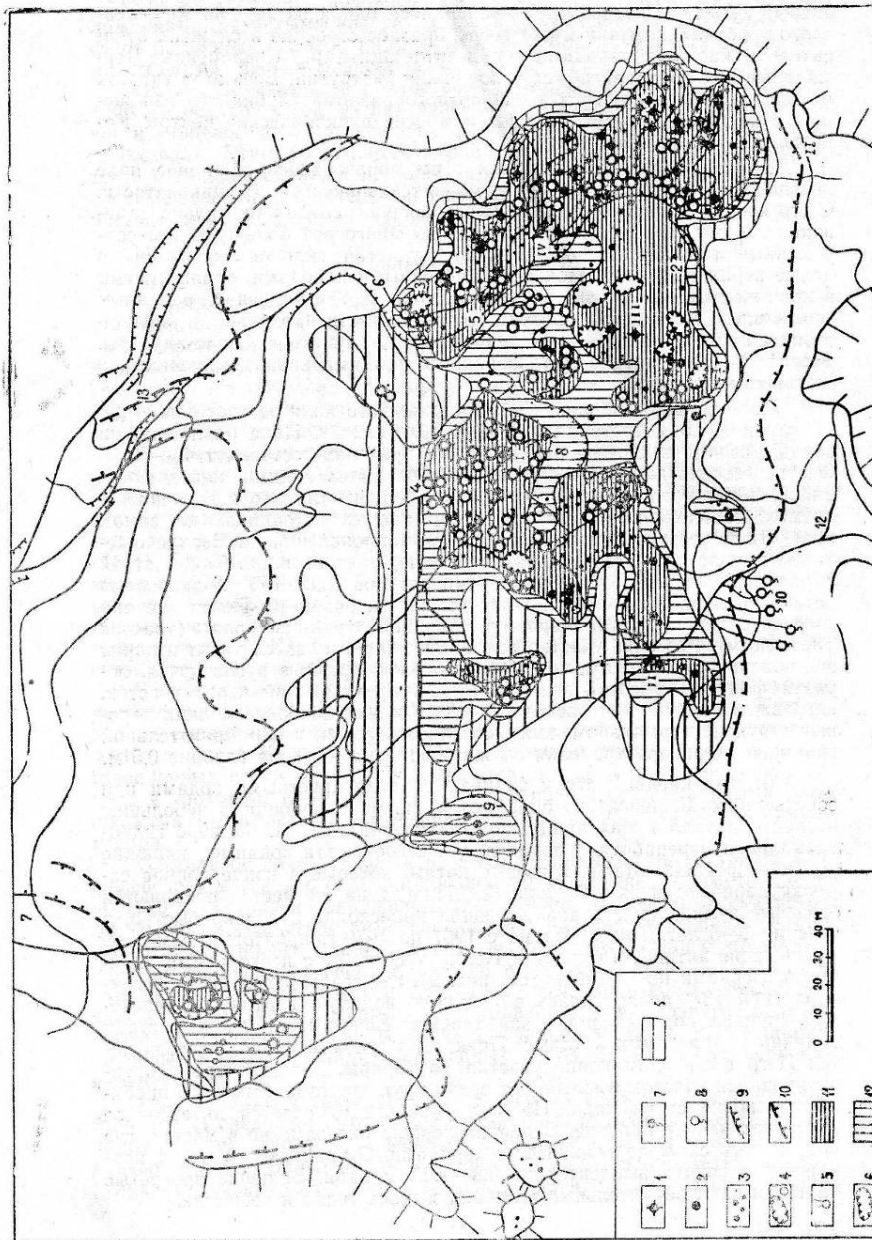


Рис. 2. Карта Верхнекошелеевского термального поля (составил Е. А. Вакин): 1—сильные струи перегретого пара; 2 — сильные струи насыщенного пара; 3 — струи пара средней и малой интенсивности; 4 — кипящие водяные котлы и озера; 5 — горячие фонтаны; 6 — грязевые котлы; 7 — термальные источники; 8 — холодные источники; 9 — эрозионные уступы; 10—граница термального поля по обратному тепловому градиенту; 11 -13 — зоны с температурой на глубине 0,5 м; 11 — более 90°, 12—50-90°; 13—20-50°. Цифры 1-13 — водные пробы, I-V — пробы газа и конденсата.

На термальном поле зафиксировано несколько небольших источников с температурой 95—96° и дебитом в сотые доли литра в секунду. Почти все они расположены в уступе рельефа вокруг участка Полигон и являются сбросом конденсата с этого участка. Источники с температурой 73—74° и суммарным дебитом 0,5 л/с отмечаются на заболоченном участке у западной границы поля. Это тоже нисходящие источники, вода которых нагрета паром на небольшой глубине. Поверхность измененных

пород на сильно прогретых участках поля покрыта корочками возгонов, состоящих из сульфатов железа, алюминия, магния, кальция. Они время от времени смываются дождем. Около паровых струй и на парящих участках породы вблизи поверхности насыщены самородной серой, образованной при окислении сероводорода.

Вынос тепла. Замер теплопотерь на таких крупных термальных полях, как Верхнекошелевское, является мероприятием сложным и трудоемким, тем более что до сих пор не существует отработанных методик и стандартной аппаратуры для подобных работ. Определение величины естественного выноса тепла необходимо, так как она является нижним пределом тепловой мощности изучаемой термоаномалии и на стадии поисков служит единственным количественным критерием ресурсов потенциального месторождения подземного тепла. Обследование Верхнекошелевских гидротерм проведено Институтом вулканологии в июле — августе 1966 г. Все приводимые в разделе данные получены в это время.

На топоплан (масштаб 1 : 1000) кроме элементов рельефа и гидрографической сети нанесены все термопроявления. Для определения контуров термоаномалии и зон с различной интенсивностью прогрева проведена термометрическая съемка по сетке 20X40 м. Замеры температуры сделаны в 102 зондировочных скважинах (шпурах) глубиной 0,5—1,0 м. Замерялась температура воздуха в 2 см от поверхности, на поверхности и на глубинах 10, 30, 50 и иногда 100 см. Кроме того, замерены температуры всех источников, ручьев, горячих водоемов, горячих котлов и всех крупных паровых струй (более мелкие струи выносят пар при температуре насыщения 96—97°). По этим данным составлена карта термального поля (см. рис. 2).

Вынос тепла Кошелевскими термами определен как сумма выноса газопаровыми струями за счет рассредоточенного парения, теплоотдачи с поверхности грунта, теплоотдачи с поверхности кипящих водоемов, выноса тепла источниками и поверхностными водотоками. Распределение выноса тепла по основным составляющим показано в табл. 2.

Более 60% выноса тепла приходится на газопаровые струи. Расход мощных струй замерен концевой диафрагмой, прикрепленной к метровому патрубку, к которому присоединен конус из листового алюминия. При помощи этого устройства замерен расход 15 газопаровых струй (табл. 3). Остальные расположены так, что работа на них затруднена. По данным 15 замеров рассчитан средний расход, эта величина распространена на все 46 струй перегретого пара, зафиксированных на термальном поле.

Для расчета выноса тепла мелкими и средними паровыми струями.

Таблица 2 Вынос тепла с Верхнекошелевского термального поля

Интервал температур на глубине 0,5 м	Площадь, м ²	Модуль парения, ккал/с·м ²	Модуль теплоотдачи с поверхности, ккал/с·м ²	Вынос тепла, ккал/с					
				рас-средо-точное парение	тепло-отда-ча с по-верх-ности	мощные газопаровые струи с T > 120°	средние и слабые газопаровые струи с T = 120—96°	поверх-ность кипя-щих водо-емов	источ-ники и ручьи
20—50°	12 650	—	0,04	—	500				
50—90°	8900	0,03	0,10	270	890				
>90°	11 880	0,50	0,30	5940	3560				
Итого				6200	5000	6200	21 000	5300	2400
%				13	10	17	44	11	5

Примечание. Общий вынос тепла 48 000 ккал/с.

Таблица 3 Расход струй перегретого пара и вынос тепла

№	1	2	3	4	5	6	7	8
t° C	140	144	130	135	130	123	141	124
Расход, кг/с	0,102	0,228	0,265	0,342	0,244	0,102	0,293	0,169
Вынос тепла, ккал/с	67	150	174	224	160	65	193	110
№	9	10	11	12	13	14	15	Σ
t° C	124	143	120	120	150	144	145	—
Расход, кг/с	0,412	0,432	0,222	0,222	0,412	0,239	0,433	—
Вынос тепла, ккал/с	263	285	146	146	260	159	287	2695

Примечание. Средняя мощность паровой струи 179 ккал/с.

на трех больших участках термального поля (Тартарары, Полигоне и Кислом) выбраны типичные для них площадки размером 15—25 м². На этих площадках с помощью конуса-конденсатора определялся расход мелких и средних струй, подсчитывался вынос тепла струями разной интенсивности с единицы площади, результат распространялся на всю площадь соответствующего участка. Поскольку подавляющее большинство паровых струй находится в зоне температур 90° на глубине 0,5 м, принимались во внимание только эти площади.

На участках, где температура на глубине 50 см превышает 50°, вся поверхность интенсивно парит даже там, где не видно отдельных струек пара. Такое рассредоточенное парение хорошо заметно в тихую холодную погоду, а при сильных заморозках на парящих участках образуются ледяные иглы длиной более 10 см. На большую величину выноса тепла за счет рассредоточенного парения обратил внимание В. В. Аверьев в 1962 г. Им же введено понятие «модуль парения» - удельный вынос тепла с парящего грунта — и предложен способ замера модуля парения конусом-конденсатором. На упомянутых выше экспериментальных участках замерены модули парения для двух температурных зон (см.

табл. 2). Они практически не отличаются от модулей аналогичных зон на других термальных полях Камчатки.

Величина теплоотдачи с поверхности нагретого грунта рассчитана по методу изотермического испарения (Ковалев, 1966), который позволяет найти зависимость величины теплоотдачи от температуры поверхности грунта. Нами было экспериментально проверено соответствие построенных Г. Н. Ковалевым кривых условиям Верхнекошелевского термального поля. Сходимость данных оказалась удовлетворительной. Однако при расчетах мы пользовались не непосредственными замерами температур поверхности, а характерными для данной изотермической зоны температурами, найденными путем построения гистограмм, что позволило сгладить влияние погодных условий. Такими температурами на глубине 0,5 м оказались: для изотермической зоны $>90^{\circ}$ — 36° , для зоны 50 — 90° — 25° . Точность определения теплоотдачи нагретой поверхности для Верхнекошелевских терм низкая, так как большие площади завалены крупными лавовыми глыбами, а метод Г. Н. Ковалева применим только для участков с определенным строением поверхности.

Не найден также надежный способ определения теплоотдачи с поверхности кипящих водоемов. Мы воспользовались эмпирической зависимостью, приведенной в работе Даусона (Dawson, 1964), $Q \text{ ккал/с} = 7hS$, где h — высота кипящего грифона, см; S — площадь кипящей зоны, м^2 . Вынос тепла с поверхности нагретых водоемов, где нет кипения, автоматически учитывается (с небольшими погрешностями) модулями теплоотдачи и парения. Измерение выноса тепла ручьями и источниками не представляет затруднений. Наибольшее количество тепла (2200 ккал/с) выносит Западный ручей. Его расход в межень $28 \text{ л/с} — 78^{\circ}$.

Суммарная цифра выноса тепла с термального поля 48000 ккал/с , возможно, несколько занижена, так как не учитывался вынос тепла с участков, где температура на глубине 50 см ниже 20° , и при подсчете площадей не учтены уклон и изрезанность поверхности. Удельный вынос тепла с термального поля в границах изотермы $+20^{\circ}$ составляет $1,45 \text{ ккал/с} \cdot \text{м}^2$ ($1,4 \cdot 10^5 \text{ Мкал/с} \cdot \text{см}^2$). Это указывает на очень большую концентрированность потока теплоносителя. Нет сомнения, что тепло транспортируется к поверхности паром, температура которого, судя по максимальной температуре паровых струй, более 150° . К поверхности поступает 70 — 75 кг пара в секунду.

Относительно небольшая величина теплоотдачи (5000 ккал/с), являющаяся ничем иным, как выносом тепла, освободившегося при конденсации пара на малой глубине, и очень незначительный вынос тепла источниками и ручьями говорят о том, что почти весь поступающий пар выбрасывается в атмосферу. При конденсации пара выделяется около

80% тепла от общей величины его теплосодержания, следовательно, непосредственно под поверхностью конденсируется всего около 10 кг/с пара да еще около 3—4 кг/с поглощается ручьями. Этот вывод подтверждается и очень небольшим числом и малым дебитом термоминеральных источников на периферии термального поля.

Нижнекошелевское термальное поле. Нижнекошелевские парогидротермы находятся на отлогом внешнем склоне соммы Западного вулкана на отметках 750—800 м. Термопроявления располагаются на дне и на северном пологом склоне оврага, протянувшегося в широтном направлении. Наиболее характерной формой термопроявлений являются большие кипящие водоемы и более мелкие кипящие воронки, грязевые котлы. На возвышенных участках располагаются струи пара, в том числе и достаточно мощные. В восточной части поля имеются горячие источники и теплое озерко.

Геологический разрез с учетом данных, полученных при бурении, можно представить в следующем виде (снизу вверх): 1 — плиоценовые андезиты мощностью до 500 м, с глинистой корой выветривания в кровле мощностью более 10 м; возможно существование древних полей термально измененных пород, перекрытых четвертичными вулканитами; 2 — плейстоценовые лавы андезито-базальтов с прослоями и линзами агломератов, агглютинатов и шлаков общей мощностью до 300 м. До четвертичный фундамент из-за повсеместно распространенной коры выветривания служит водупором, но ниже ее на участках тектонического дробления андезиты сильно трещиноваты.

Толща средне-верхнечетвертичных вулканитов является хорошим коллектором. Сравнительно пологий рельеф, обилие каменных россыпей и интенсивная вертикальная раздробленность обусловили преобладание подземного стока над поверхностным. Воды беспрепятственно фильтруются до древней коры выветривания в основании толщи. Периклинальное залегание пород способствует движению, холодных подземных вод к краевым частям вулканической постройки.

Участок разгрузки терм находится в зоне повышенной трещиноватости плиоценовых пород. Здесь молодые радиальные и кольцевые разломы совместились с долгоживущим региональным тектоническим швом северо-восточного направления. Выходы терм на поверхность приурочены к сбросо-сдвигу широтного простирания. Горизонтальное смещение по этому разлому 250—300 м, падение крутое, юго-западное, опущен южный блок. Термальная площадка пересечена другим, почти вертикальным молодым разломом северо-восточного простирания. По-видимому, термовыводящие каналы связаны с пересечением этих двух разломов.

Площадка имеет вытянутую форму, размером 300—100 м. В восточной части (в верховьях оврага) она расширяется. Интенсивность и концентрированность

термопроявлений уменьшается по мере увеличения ширины площадки. Для Нижнекошелевских терм характерна сильная обводненность участка разгрузки грунтовыми и поверхностными водами. Через термальное поле протекает ручей, берущий начало из родников с температурой $8 - 12^\circ$ и слаботермальных болот у восточной границы поля. Здесь разгружается грунтовый поток, подогретый еще за пределами поля. На выходе с термальной площади ручей имеет температуру $80-90^\circ$ и расход около $30-40$ л/с (рис. 3).

На термальном поле довольно отчетливо выделяются три прогретых участка.

Восточный, наиболее слабый, имеет самую большую площадь. На нем находится площадка со слабыми паровыми струями и несколькими кипящими воронками, две группы термальных источников с температурами до 76° и дебитом в десятые доли литра в секунду, теплое ($20-25^\circ$) озерко и теплые болота. Большая часть участка летом покрыта буйной травяной растительностью.

Центральный участок имеет вид открытого на запад котлована с развалом крупных глыб андезито-базальта, между которыми пробиваются сильные струи пара. На плоском глинистом дне котлована расположен кипящий водоем, заполненный жидким серым глинистым раствором с пленками пирита на поверхности, и около десятка небольших грязевых котлов и кипящих воронок. Ниже Центрального участка овраг изрезан крутостенными котлованами, ямами и гребнями, перемежающимися с плоскими площадками. Они завалены крупными глыбами и более мелкими обломками лав, между которыми выбивают паровые струи или чаще пар выходит без напора.

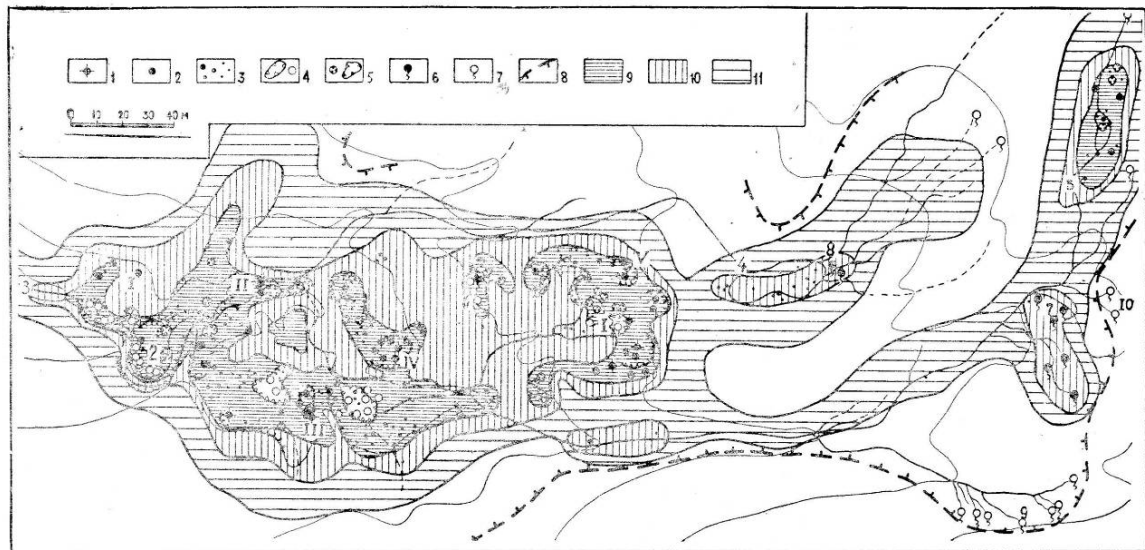


Рис. 3. Карта Нижнекошелевского термального поля (составил Е. А. Вакин): 1—струи перегретого пара; 2—сильные струи насыщенного пара; 3—струи пара средней и малой интенсивности; 4—кипящие водяные котлы и озерки; 5—грязевые котлы; 6—термальные источники; 7—холодные источники; 8—граница термального поля по обратному тепловому градиенту; 9—11—зоны с температурой на глубине 0,5 м: 9—более 90° , 10— $50-90^\circ$, 11— $20-50^\circ$. Цифры 1—10—водные пробы, I—V—пробы газа и конденсата. Горизонталь проведена через 10 м

В одном из таких «спокойных» выходов в западной части замерена максимальная для Нижнекошелевских терм температура—117°. Все остальные выходы чара имеют температуру насыщения 97°. На выположенных местах и в тальвеге ручья в большом количестве отмечаются кипящие котлы.

В центре Западного участка ручей превращается в цепь кипящих котлов, а затем полностью исчезает под огромными глыбами лавы. Здесь же на уступе над кипящими воронками среди каменных глыб находится самая мощная струя пара — Тройная (0,7 кг/с). У западного окончания термального поля под восьмиметровым вертикальным обрывом левого борта оврага расположено термопроявление — Большой котел. Это озерко в форме полумесяца длиной 20 м и шириной 5—7 м. Вся его поверхность кипит, а под южным нависающим берегом зона кипения с высотой грифона до 2 м занимает пространство 7X2 м. Котел хорошо просматривается только при сильном ветре. В остальное время он закрыт плотными клубами пара. Очевидно, в Большой котел подземным путем стекает вода ручья, исчезнувшего выше в овраге, а в его дне выходит несколько мощных струй пара. На выходе из котла расход ручья 30 л/с, температура 90°.

На западном и центральном участках породы на поверхности подвергались интенсивной гидротермальной переработке. Почти вся поверхность сильно прогрета, покрыта возгонами сульфатов и в некоторых местах насыщена самородной серой.

Вынос тепла. Нижнекошелевское термальное поле представляет собой крупную тепловую аномалию. В августе 1967 г. ее площадь на глубине 0,5 м составляла по изотерме +20°—38 000 м², по изотерме >90°—7300 м². Естественный вынос тепла на Нижнекошелевском участке составляет 24 800 ккал/с, удельный вынос — 0,65 ккал/с*м.² (6,5*10⁴ Мкал/с*см²). Распределение теплопотерь по отдельным составляющим показано в табл. 4.

Таблица 4 Вынос тепла с Нижнекошелевского термального поля

Интервал температур на глубине 0,5 м	Площадь, м ²	Модуль парения, ккал/с*м ²	Модуль теплоотдачи с поверхности, ккал/с*м ²	Вынос тепла, ккал/с						
				рас-средо-точное парение	теплоот-дача с поверх-ности	мощные газопаро-вые струи	с T ∇ 97°	средние и слабые газопаро-вые струи с T ∇ 97°	поверх-ность кипящих водое-мов	источники и водоотки
20—30°	12 900	—	0,04	—	480					
30—50°	6900	—	0,07	—	480					
50—70°	7300	0,03	0,10	220	730					
70—90°	4500	0,06	0,15	270	760					
90°	7400	0,50	0,30	3700	2210					
Итого				4200	4600	1100	3100	9400	2500	
%				17	19	4	12	38	10	

Примечание. Общий вынос тепла 25 000 ккал/с.

Методика измерения отдельных составляющих выноса тепла та же, что и на Верхнекошелевских термах. Топографическая съемка поля и разбивка термометрической сети сделаны мензулой. Модули теплоотдачи с нагретой поверхности в поле не определялись, а для расчетов приняты величины, аналогичные полученным на Верхнекошелевских термах. Между Верхне- и Нижнекошелевским полями много общего. Тепло из глубин к поверхности на Нижнекошелевских термах также транспортируется паром. Анализируя структуру выноса тепла, можно подсчитать, что примерно из 40 кг/с пара немного более 10 кг конденсируется вблизи поверхности, а остальной пар выбрасывается в атмосферу. В районе Нижнекошелевских терм наблюдаются признаки рассредоточения восходящего потока терм: на небольшом удалении от термального поля обнаружены очаги разгрузки слаботермальных вод. Отличия от Верхнекошелевских терм в структуре выноса тепла объясняются гидрогеологическими особенностями Нижнего поля: большей обводненностью и меньшей температурой пара на глубине.

Термальные источники. В западном секторе Кошелевского массива имеется несколько групп теплых источников. Их тепловая мощность мала, но в совокупности с сильными термоаномалиями (нижне- и верхнекошелевской) они указывают на интенсивный прогрев всей этой части массива на относительно небольшой глубине.

Сивучинские источники расположены в 4 км юго-западнее Нижнекошелевских терм, в правом борту долины Четвертой речки на высоте 160 м над тальвегом, отметка над уровнем моря 250 м. Основной источник интенсивно газирует, температура его 49°, дебит 0,46 л/с. Вблизи главного выхода имеются слабые просачивания воды с температурой порядка 15°. Источники связаны с наклонной тектонической зоной взбросового характера. Эта зона является скорее экранирующей, а водопродводящими каналами, видимо, служат более мелкие разрывные нарушения, радиальные по отношению к Западному вулкану. По системе таких трещин возможна связь Сивучинских терм с Нижнекошелевскими.

Источники Промежуточные находятся в 2,5 км юго-западнее Нижнекошелевского термального поля, в узкой долине истока Третьей речки. На правом берегу реки вблизи коренных выходов андезито-базальтов Западного вулкана на протяжении 30 м наблюдается семь родников с дебитами 0,2—3,5 л/с. Их суммарный дебит 17 л/с, температура от 16 до 19°, выходы терм имеются также и в русле реки. Далее вниз до самого устья реки встречается еще несколько групп источников с температурой 8—10°. Расход отдельных родников достигает 44 л/с.

Источники Кальдерные. Две группы источников в глубоком ущелье в верховьях р.левой Шумной. Расстояние от них до Нижнекошелевского термального поля 2,5 км, до Верхнекошелевского - 3,5 км. В структурном отношении они приурочены к участку

пересечения кольцевого разлома кальдеры Западного вулкана с одной из ветвей субширотного разлома глубокого заложения, в зоне которого находятся и Верхнекошелевские термы.

Источники Шумные. В долине реки Средней Шумной в 1,5 км ниже Кошелевских терм. Слабые источники с температурой 5,5°, что наряду с высокой минерализацией (1,1 г/л) выделяет их на общем гидрогеологическом фоне. В этой же долине вблизи Верхнекошелевского термального поля есть подобные с температурой 47°. Их связь с Верхнекошелевскими не вызывает сомнений, и обе группы интересны скорее своим сходством с достаточно отдаленной группой источников Сказка.

Источники Сказка. Выходят на поверхность в долине одного из истоков Третьей речки, в 3 км от Нижнекошелевского термального поля. Они приурочены к толще плиоценовых андезитов в зоне пересечения регионального тектонического шва северо-восточного направления с субширотным разломом. Вблизи отмечаются древние поля брекчированных термально измененных пород, а в речном аллювии найдены опалиты с крупными включениями кристаллической серы, которые не характерны для данной площади и являются, видимо, более поздними образованиями, возможно связанными с очагом разгрузки Нижнекошелевских терм.

Учитывая структурное положение перечисленных источников, их возникновение можно объяснить локальным воздействием дериватных струй парогидротерм на воды холодных водоносных горизонтов. Об этом свидетельствует и некоторое сходство химического состава низкотемпературных терм с составом вод на периферии крупных тепловых аномалий.

Химический состав газопаровых струй и термальных вод

Сведения о химическом составе термальных вод и газов Кошелевских парогидротерм и Сивучииских источников неоднократно публиковались (Гонсовская, 1954; Иванов, 1958; Набоко, 1954); сложились определенные представления о химизме терм района. Однако полученные нами данные иногда противоречат им в основном из-за разных методов отбора и анализа гидрохимического материала. Наши предшественники в силу объективных обстоятельств вынуждены были ограничиваться одиночными пробами, которые весьма подробно анализировались через несколько месяцев. В этом разделе приводятся результаты анализов, выполненных непосредственно у источников или в полевой лаборатории сразу после отбора пробы. (Этим объясняется ограниченное число определяемых компонентов минерализации). Na^+ и K^+ определены методом фотометрии пламени в стационарных условиях. Анализы газа на Нижнекошелевских термах сделаны на месте выхода газопаровых струй.

При отборе проб газа и конденсата использовались трубчатые зонды из нержавеющей стали или титана, которые забивались в паровыводящий канал на глубину 0,7—1,2 м. Пар конденсировался в кварцевых конденсатосборниках, погруженных в сосуд со смесью воды и снега. Газ собирался в пипетку, заполненную соляным раствором, или непосредственно в поглотительную колонку для определения того или иного компонента.

При изучении химического состава парогидротерм, подобных Кошелевским, необходимо отдельно рассматривать следующие их разновидности: парогазовая смесь (газ и искусственно полученные конденсаты); естественные конденсаты, образовавшиеся на поверхности (воды бессточных кипящих водоемов); нагретые поверхностные водотоки; термальные источники (грунтовые воды, нагретые паром, сконденсировавшимся на глубине).

Следует принять во внимание и состав холодных грунтовых и поверхностных вод, поступающих в очаг разгрузки газопаровой смеси. При сопоставлении различных термальных полей сравнивать можно только соответствующие разновидности гидротерм. Нарушение этого, теперь уже очевидного, принципа привело к многочисленным ошибкам.

Состав восходящего пара и химическую обстановку на глубине лучше всего отражают искусственно полученные конденсаты и пробы, отобранные из наиболее мощных и высокотемпературных газопаровых струй. В табл. 5 приводятся результаты анализов газопаровой смеси до ее контакта с воздухом. Отсутствие кислорода в пробах свидетельствует о высокой чистоте отбора. По газовому составу Верхнекошелевские и Нижнекошелевские термы отличаются существенно. На обоих полях преобладает CO_2 , но на Верхнем поле его примерно на 10% меньше; за счет более высокого содержания сероводорода (17—24% против 1—9%) Нижнекошелевские термы отличаются стабильно высоким содержанием метана (CH_4 —11—14%). Конденсаты пара Кошелевских терм слабокислые, почти нейтральные ($\text{pH} > 6,5$), слабоминерализованные (0,2—0,6 г/л), гидрокарбонатно-аммонийного или гидрокарбонатно-натриевого состава. На Верхнем поле в конденсатах в заметных количествах присутствует (иногда даже преобладает) ...фат

Химический состав газопаровых струй термальных полей Кошелевского
вулканического массива
Аналитик Г. В. Прохорова

Таблица 5

Проба	Место отбора проб	t° C	Дебит газопаровой смеси, кг/с	Состав сухого газа, об. %								Соотношение объемов конденсата и газа	Содержание водяного пара в газопаровой смеси, %	катионы, мг/л			
				CO ₂	H ₂ S	SO ₂	Σ кислых газов	H ₂	CH ₄	N+i	CO			O ₂	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺
Нижнекошелевские																	
1	Западная оконечность поля	96	0,016	61,4	9,1	12,6	83,1	1,04	11,35	4,46	0,05	—	1:2,31	99,85	21,6	65,17	0,15
2	Тройная, Западный участок	98	0,710	77,24	4,23	0,93	82,43	2,09	11,28	1,7	0,10	—	1:2,36	99,85	31,7	51,22	0,0
3	Южная, Западный участок	98	<0,01	72,31	1,51	2,13	75,95	3,54	11,20	9,00	0,38	—	1:2,06	99,87	47,0	0,0	0,0
4	Перегретая, Западный участок	117	0,033	77,19	0,72	2,19	80,11	0,40	14,26	6,27	0,0	—	1:2,09	99,86	49,7	4,15	0,0
5	Спокойная, Центральный участок	97	<0,01	80,4	1,25	0,33	82	0,0	10,8	7,2	0,0	—	1:2,14	99,86	28,4	70,19	0,42
Верхнекошелевские																	
6	Центр участка Кислого	120	0,222	64,9	19,5	5,5	89,9	0,0	1,5	8,6	0,0	—	1:16,90	98,92	45,7		71,2
7	Юго-западная оконеч. термального поля	96	0,114	72,5	24,1	0,84	97,4	0,5	0,65	1,45	Следы	—	1:20,41	98,70	37,1		154,2
8	Участок Полигон, центр	137	0,342	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70,0		9,10
9	Участок Тартарары, центр	131	0,360	67,0	17,1	5,7	89,8	0,38	0,28	8,09	0,0	1,41	1:18,10	98,88	50,0		12,9
10	Участок Тартарары, северная часть	124	0,169	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50,0		13,3

Окончание т

Проба	Место отбора проб	t° C	Дебит газопаровой смеси, кг/с	Состав конденсата пара										pH	Формула химического состава		
				катионы, мг/л				анионы, мг/л									
				Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cl ⁻	S ²⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₃ ²⁻	S ₂ O ₃	HCO ₃ ⁻			H ₂ SiO ₃	
1	Западная оконечность поля	96	0,016	0,0	0,0	0,0	9,2	8,86	6,8	40,0	0,0	0,0	194,9	3,0	6,7	M _{0,35}	HCO ₃ 70 SO ₄ 18 Na 62 NH ₄ 27 HCO ₃ 97
2	Тройная, Западный участок	98	0,710	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	234,0	Следы	6,4	M _{0,32}	Na55 NH ₄ 45 HCO ₃ 96 NH ₄ 100
3	Южная, Западный участок	98	<0,01	Следы	Следы	0,8	0,8	1,5	0,39	0,0	0,0	7,3	140,1	Следы	6,3	M _{0,20}	HCO ₃ 96 NH ₄ 100
4	Перегретая, Западный участок	117	0,033	Следы	Следы	1,0	1,0	2,8	3,74	0,0	0,5	15,4	160,1	0,233	6,9	M _{0,27}	HCO ₃ 87 S 6 NH ₄ 85 Na 14
5	Спокойная, Центральный участок	97	<0,01	0,0	0,0	2,0	18,3	12,41	18,7	46,01	0,0	105,0	171,2	0,066	5,7	M _{0,48}	HCO ₃ 50 SO ₄ 17 S ₂ O ₃ 1 Na 53 NH ₄ 28 Fe 17 SO ₄ 59 HCO ₃ 35
6	Центр участка Кислого	120	0,222	17,46	7,77	6,9	10,2	7,74	0,0	178,6	0,0	Следы	136,6	0,125	6,7	M _{0,47}	NH ₄ 81 (Na+K) 17 SO ₄ 67 HCO ₃ 28 Na 67 NH ₄ 20
7	Юго-западная оконеч. термального поля	96	0,114	7,07	4,68	4,4	4,3	8,42	0,0	252,6	0,0	Следы	136,6	0,085	6,4	M _{0,82}	HCO ₃ 50 SO ₄ 46 NH ₄ 81 (Na+K) 17 HCO ₃ 50 SO ₄ 44
8	Участок Полигон, центр	137	0,342	0,0	1,6	0,0	0,0	6,33	Следы	111,9	0,0	—	151,3	Следы	6,6	M _{0,37}	NH ₄ 81 (Na+K) 17 HCO ₃ 50 SO ₄ 44
9	Участок Тартарары, центр	131	0,360	0,50	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	75,7	0,0	—	109,8	0,0	6,6	M _{0,29}	NH 82 (Na+K) 17 HCO ₃ 80 SO ₄ 15 NH ₄ 80 (Na+K) 18
10	Участок Тартарары, северная часть	124	0,169	0,50	1,6	0,0	0,0	4,0	4,1	24,7	0,0	—	168,4	0,0	6,4	M _{0,27}	HCO ₃ 80 SO ₄ 15 NH ₄ 80 (Na+K) 18

Примечательно, что во всех пробах, хотя и в малых количествах, обнаруживается хлор (1,5—12,4 мг/л).

Вариации химического состава газопаровой смеси на территории термальных полей объясняются различной степенью их приповерхностного метаморфизма, зависящей от условий выхода. Сильнее метаморфизованы слабые струи, выходящие на изрезанных и возвышенных участках и на периферии термальных полей. Эту тенденцию можно проследить на Нижнекошелевском поле, где температуры и расход паровых струй колеблются в меньших пределах и зависимость состава газопаровой смеси от условий выхода на поверхность яснее. Примером состава газопаровых струй со следами метаморфизма могут служить пробы № 5 и 6 (см. табл. 5), а наиболее «чистыми», на наш взгляд, являются № 2, 3 для Нижнекошелевских и №10 — для Верхнекошелевских терм. Состав Кошелевских газопаровых струй ничем принципиально не отличается от состава Семячских, Камбальных или Северо-Мутновских.

Газопаровые струи, конденсируясь на поверхности и в приповерхностных условиях и вступая при этом в контакт с кислородом воздуха, холодными водами, насыщенными кислородом, с измененными в той или иной степени породами и минеральными новообразованиями, дают начало обширному семейству конденсатных вод (псевдофумарольные термы, по В. В. Иванову). По-видимому, очень большую роль в формировании этих вод играют биохимические процессы. Воды верхней части современных термальных полей («Кислой шляпы») весьма разнообразны и изменчивы во времени и по составу. Это кислые сульфатные воды, в катионной группе которых представлен широкий ассортимент компонентов, заимствованных из пород непосредственно на термальной площадке (Na, Ca, Mg, K, Al, Fe). Из глубины с паром в эти воды привносится лишь сера (окислившиеся до сульфатов H_2S и SO_2), аммоний, натрий и некоторые микрокомпоненты. В табл. 6 показан химический состав двух разновидностей конденсатных вод Верхнекошелевского термального поля: бессточных кипящих водоемов (№ 1, 2, 3) и источников (№ 8, 9), представляющих собой выходы подземных вод, смешанных с конденсатом пара на некоторой глубине (в данном случае на глубине первых метров). Воды кипящих водоемов почти полностью состоят из естественного конденсата пара. От искусственных конденсатов они заметно отличаются чисто сульфатным составом, меньшим рН, большей минерализацией и большим разнообразием катионов.

Протекающие через термальное поле ручьи (см. табл. 6, № 5, 6, 7) получают минеральную нагрузку из струй пара, конденсирующихся непосредственно в ручье за счет стока конденсатных вод и выщелачивания термально измененных пород. О составе поверхностного стока на термальных площадках дает представление проба 4. Результаты анализов холодных ручьев за пределами современного термального поля (№ 11—13) показывают, что холодные воды, участвующие в формировании Верхнекошелевских конденсатных вод, уже приобрели специфический состав в результате контакта с более древними, термально измененными породами. Состав горячих источников (№ 8, 9) не отличается от состава вод, сформированных на поверхности поля, что указывает на приповерхностный характер этих источников.

Присутствие небольшого количества хлора в конденсатах и водах Верхне- и Нижнекошелевских терм, очевидно, свидетельствует о высоких температурах восходящей газопаровой смеси, так как пар с низкой температурой не переносит хлориды.

Конденсатные воды Нижнекошелевского термального поля (табл. 7) характеризуются, как правило, щелочной реакцией. Слабокислые воды встречаются

только в периферийных, приподнятых частях поля, на участках с относительно слабой термальной деятельностью (см. табл. 7, № 1, 5, 7).

Химический состав вод Верхнекошелевского Аналитик Г. В.											
Проба	Место отбора проб	PC	Дебит, л/с	Катионы							
				H ⁺	NH ₄ ⁺	Na+K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	AP ⁺
Естественные											
1	Кипящее озеро на участке Полигон	96	0,0	0,0	70,0	31,6	18,8	27,2	0,0	0,0	0,0
2	Кипящее озеро на участке Полигон	96	0,0	0,0	108,0	49,5	17,8	25,2	0,5	0,0	0,0
3	Грязевый котел у северной границы участка Тартарары	94	0,0	0,0	9,0	6,2	2,4	17,8	2,5	0,0	—
4	Ручей на выходе с участка Кислое	47	2,9	2,2	90,0	6,9	7,1	68,0	0,0	12,0	7,0
Нагретые											
5	Ручей Восточный у больших фонтанов	81	—	0,0	30,0	17,0	4,7	67,8	12,0	0,0	0,0
6	Восточный ручей на выходе с термального поля	78	28	0,0	9,0	9,7	2,4	19,4	0,2	0,0	—
7	Западный ручей на выходе с термального поля	26	>30	0,5	0,0	1,2	16,4	15,6	0,0	0,0	0,0
Термальные											
8	Источники на участке Кислое	95	0,31	0,7	50,0	19,10	5,0	65,8	20,0	10,0	13,0
9	Источники у западной границы поля	73,5	0,45	1,0	20,0	35,9	4,7	23,0	4,0	0,0	—
Холодные воды, поступающие											
10	Источники в верховьях ручья Западного	3	4,2	0,1	0,0	4,2	0,0	3,8	0,0	0,0	—
11	Ручей Восточный под снежником выше термального поля	4	—	0,6	1,0	17,2	23,3	135,8	15,0	5,0	—
12	Ручей Западный под снежником выше термального поля	3	—	0,10	0,0	1,2	2,3	4,0	0,0	0,0	—
13	Холодный ручей восточнее термального поля	2	>40	0,0	0,0	10,8	0,0	3,8	0,0	0,0	—

Таблица 6
термального поля, мг/л
Прохорова

Анионы		Недиссоциированные кислоты					pH	Формула химического состава	
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	H ₂ BO ₃	H ₂ S			H ₂ SiO ₄
конденсаты									
12,3	371,9	0,0	11,0	33,4	15,1	—	65,0	5,9	M _{0,76} SO ₄ 95
14,2	493,7	0,0	2,4	37,0	13,1	—	65,0	5,2	M _{0,00} NH ₄ 50 Mg 20 Ca 17 (Na+K) 14 SO ₄ 97
10,6	69,9	0,7	10,2	22,9	13,3	2,0	15,6	5,8	M _{0,14} NH ₄ 54 (Na+K) 18 Mg 14 Ca 12 SO ₄ 76 Cl 14 HCO ₃ 9
—	620,4	0,0	0,0	77,4	82,0	—	65,0	2,7	M _{1,22} Ca 45 NH ₄ 26 (Na+K) 15 SO ₄ 100 NH ₄ 39 Ca 26 H 17
поверхностные воды									
9,3	312,7	0,0	3,6	54,5	36,0	—	26,0	5,2	M _{0,52} SO ₄ 97 Ca 50 NH ₄ 25 Fe ²⁺ 9
—	98,7	1,0	4,9	19,4	15,5	—	36,4	5,9	M _{0,20} SO ₄ 95 Ca 45 NH ₄ 30 (Na+K) 19
—	128,4	0,0	0,0	22,0	5,1	—	26,0	3,3	M _{0,24} SO ₄ 100 Mg 50 Ca 29 H 19
источники									
—	518,4	0,0	0,0	111,8	80,0	—	65,0	3,2	M _{0,75} SO ₄ 100 Ca 30 NH ₄ 26 Al 14
11,0	242,7	2,4	0,0	66,9	8,9	2,1	110,6	3,0	M _{0,48} SO ₄ 94 (Na+K) 27 Ca 23 NH ₄ 22 H 20
на термальное поле									
—	23,0	—	0,0	3,5	0,0	—	4,0	3,9	M _{0,05} SO ₄ 100 Ca 38 (Na+K) 37 H 25
—	526,6	—	0,0	44,0	2,2	—	26,0	3,2	M _{0,76} SO ₄ 100 Ca 62 Mg 18
—	26,3	—	0,0	141,0	0,0	—	13,0	4,0	M _{0,45} SO ₄ 100 Ca 37 Mg 35 H 18
—	29,0	—	3,1	28,0	0,0	—	6,5	5,4	M _{0,05} SO ₄ 92 HCO ₃ 8 Na 71 Ca 29

Это, видимо, объясняется высоким уровнем грунтовых вод в районе поля, малой мощностью зоны аэрации и, следовательно, слабым развитием «Кислой шляпы». Кроме того, и газопаровая смесь здесь отличается низкой газонасыщенностью — в 8—10 раз меньше, чем на Верхнекошелевском поле, т. е. из глубины поступает почти чистый нейтральный пар. Термальные источники, имеющиеся на Нижнекошелевском поле (№ 7, 8), демонстрируют результат насыщения грунтовых вод, аналогичных разгружающимся у юго-восточной границы поля (№ 9), конденсатом пара. Химический состав, Нижнекошелевских парогидротерм указывает на вторичное (в результате подземного вскипания перегретых вод) происхождение разгружающегося здесь пара.

Сивучинские источники (см. табл. 7, №; 11) —единственные в районе с заметно повышенным содержанием хлора (270—300 мг/л), которое трудно объяснить привнесом хлоридов с паром. По-видимому, эти воды имеют сложное происхождение и являются результатом смешения вод хлоридно-натриевого состава с конденсатными и холодными слабоминерализованными водами.

Химический состав вод Нижнекошелевского термального
Аналитики Е. Н. Дорохова,

Проба	Место отбора проб	t°,С	Дебит л/с	Катионы					
				NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺
Естественный									
1	Центральный участок, Кипящий котел	91	0,0	45,5	172,0	2,0	2,4	7,6	0,0
2	Западный участок, Большой котел	95	0,0	28,8	272,1		6,9	5,2	0,0
Нагретые поверхностные									
3	Ручей на выходе с термального поля	92	46	20,0		166,0	19,4	18,0	—
4	Ручей, вытекающий из озера на участке Западном	61	15	10,4		157,0	6,0	17,0	0,0
5	Ручей, вытекающий с верхней термальной площадки	29	0,9	10,8		263,0	7,6	6,2	Следы
Термальные									
6	Центральный участок, источник ниже кипящих котлов	86	0,23	53,6	24,4	10,4	20,1	62,2	5,6
7	Источник у восточной границы термального поля	61	<0,1	0,53	57,8	5,5	35,8	54,4	Следы
8	Восточный участок у теплого озера	71	0,7	7,2	59,2	6,9	1,5	8,0	0,0
Холодные воды, поступающие									
9	Источники у юго-восточной границы термального поля	10	17	0,0	6,4	3,0	4,4	17,2	—
10	Исток ручья у восточной границы поля под снежником	9	>5	0,0		7,3	0,0	0,0	0,0
11	Источники Сивучинские	49	0,5	6,5	340,0	76,4	111,9	17,9	Следы

Воды слаботермальных источников Промежуточных и Кальдерных имеют исключительно низкую минерализацию (200 мг/л). Их состав характеризуется следующими формулами:

$$M_{0,2} \frac{\text{HCO}_3 88 \text{ Cl} 10}{(\text{Na} + \text{K}) 43 \text{ Ca} 37} \quad \text{pH } 5,6 \text{ (Промежуточные) и}$$

$$M_{0,2} \frac{\text{HCO}_3 87 \text{ Cl} 9}{\text{Ca} 41 (\text{Na} + \text{K}) 40} \quad \text{pH } 6,5 \text{ (Кальдерные).}$$

Состав мало что может сказать об их происхождении. Скорее всего, несколько повышенная температура этих источников объясняется нагревом дериватными струями пара. В роли теплоносителя мог выступать и углекислый газ.

Таблица 7

поля и Сивучинских источников, мг/л
Л. Н. Симонова, Л. И. Антипин

Fe ²⁺	Анионы			Недиссоциированные молекулы		pH	Формула химического состава
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	H ₂ SiO ₃		
конденсат							
13,0	49,6	479,9	0,0	—	50,0	6,2	M _{0,72} $\frac{SO_4 83 Cl 12}{Na 66 NH_4 22}$
6,2	12,4	660,0	24,4	—	30,8	8,4	M _{1,05} $\frac{SO_4 95}{(Na+K) 82 NH_4 10}$
водотоки							
—	6,2	510,1	0,0	—	43,0	7,0	M _{0,78} $\frac{SO_4 98}{(Na+K) 67 Mg 14 NH_4 10}$
0,0	5,7	413,1	0,0	—	32,4	6,8	M _{0,64} $\frac{SO_4 98}{(Na+K) 78 Ca 10 NH_4 6}$
1,5	16,8	543,4	7,3	—	12,0	5,1	M _{0,85} $\frac{SO_4}{(Na+K) 87 Mg 5 NH_4 5}$
источники							
3,5	4,6	518,0	7,3	—	35,5	5,8	M _{0,74} $\frac{SO_4 97}{Ca 33 NH_4 32 Mg 17 Na 11}$
1,2	5,0	152,5	25,0	—	23,0	6,5	M _{0,61} $\frac{HCO_3 55 SO_4 43}{Mg 35 Ca 32 Na 29}$
3,2	39,0	72,5	284,0	—	44,4	8,35	M _{0,52} $\frac{HCO_3 64 SO_4 20 Cl 16}{Na 68 NH_4 10 Ca 10}$
на термальное поле							
3,0	6,0	73,0	49,0	—	25,5	8,5	M _{0,15} $\frac{SO_4 61 HCO_3 32 Cl 7}{Ca 50 Mg 21 Na 16}$
3,5	9,7	11,9	0,0	—	9,4	7,6	M _{0,04} $\frac{Cl 55 SO_4 45}{(Na+K) 63 Fe 37}$
1,1	273,0	501,9	195,0	375	26,0	6,6	M _{1,52} $\frac{SO_4 48 Cl 36 HCO_3 15}{Na 61 Ca 23 K 8}$

Сульфатный состав источников Сказка $M_{1,6} \frac{SO_4 96}{Ca 100}$ pH 6,8

и Шумных $M_{1,1} \frac{SO_4 99}{Ca 68 (Na+K) 16}$ pH 4,8 объясняется тем, что они

расположены в зоне развития древних термально измененных пород. Повышенная их температура обусловлена, по-видимому, такой же, как у Промежуточных и Кальдерных источников, связью с дериватными паровыми струями. Низкотемпературные термы создают своеобразный гидрохимический ореол рассеяния вокруг крупных термальных полей.

Заключение

Кошелевский массив вместе с другими вулканическими сооружениями южной оконечности Камчатки находится в пределах крупной структурной депрессии, ставшей ареной молодой вулканической и гидротермальной деятельности. Геофизические данные о глубинном строении района указывают на развитие в его недрах магматических процессов. В районе Паужетки совпадение отрицательной магнитной аномалии векового хода с отрицательной аномалией силы тяжести может связываться с наличием здесь

высокотемпературного очага с центром на глубине 10 км (Зубин и др., 1971). Район разгрузки Кошелевских гидротерм совпадает с небольшой положительной гравитационной аномалией. Однородная цепь таких аномалий, вытянутая на северо-восток вдоль крупного тектонического шва, указывает на насыщенность этой разломной зоны магматическим материалом.

В непосредственной близости от Кошелевского массива историю вулканизма можно проследить, начиная с верхнего плиоцена, когда произошли обширные излияния однородных андезитовых лав. В течение четвертичного времени продолжались центральные извержения более основного, главным образом, эффузивного базальтового и андезито-базальтового материала. В среднеплейстоценовое время севернее и северо-западнее Кошелевского массива происходили извержения кислых туфолав, пемз и игнимбритов липаритового состава. В больших масштабах кислый вулканизм проявился в других частях депрессии.

Наиболее поздняя голоценовая вулканическая деятельность характеризуется резко контрастным составом изверженных пород: рядом с долеритовым субвулканическим телом в центральной части массива образовалась крупная экструзия андезито-дацитов и вслед за тем возник молодой базальтовый конус и лавовые потоки Активного кратера. Налицо обычное для сложных и долгоживущих вулканических массивов Камчатки сосуществование основных и кислых магм. Последние в данном случае имеют подчиненное значение, по крайней мере, на поверхности. Пока мы не располагаем данными, чтобы судить о том, являются ли эти магмы результатом дифференциации в одном очаге или имеют разобщенные источники.

Совокупность геофизических данных и анализ вулканической деятельности приводят к выводу, что Кошелевский массив расположен над живущей уже более миллиона лет зоной поступления в верхние горизонты земной коры (или генерации) магматического материала. Здесь, несомненно, существует не один внутрикоровой очаг, а скорее всего несколько разноглубинных магматических очагов. Концентрические кольцевые разломные зоны (см. рис. 1) дают некоторое представление о конфигурации и последовательности развития верхних частей очага или очагов. Таким образом, можно полагать, что источниками тепла для современных тепловых аномалий Кошелевского массива являются залегающие на небольшой глубине магматические очаги, состав и причины, возникновения которых остаются дискуссионными.

Гидротермальные процессы в районе Кошелевского массива протекали вместе с вулканической деятельностью в течение всего четвертичного времени. Четвертичные вулканы почти повсеместно залегают на термально измененных плиоценовых

отложениях. Центральные части четвертичных вулканических построек также подверглись газо-гидротермальной переработке. Современные термальные площадки находятся в пределах значительно больших по размерам полей более древних измененных пород, следовательно, парогидротермы и приповерхностные термоаномалии существуют в районе уже в течение длительного времени. Термопроявления приняли формы, близкие к наблюдаемым ныне, видимо, уже в послеледниковое время, когда сформировалась современная структура и гидрогеологическая обстановка района. Отложения современных вулканических построек не являются местом формирования парогидротерм. Они зарождаются глубже, в плиоценовых и более древних отложениях фундамента. Четвертичные толщи влияют только на характер, приповерхностного видоизменения и распределения и обуславливают местные особенности разгрузки парогидротерм.

Если попытаться с этих позиций экстраполировать на глубину данные, полученные на Нижнекошелевском термальном поле, получим следующее: к участку пересечения нескольких крупных тектонических нарушений приурочены мощные, сконцентрированные на небольшой площади выходы пара, состав которого не отличается от состава вторичного пара других месторождений подземного тепла, где связь его с перегретыми водами доказана. В периферийных частях Кошелевского массива сложился двухслойный гидрогеологический разрез: четвертичные вулканиты с весьма высокой водопроницаемостью и отделенные от них водоупором измененных пород дочетвертичные лавы, водоносные только в зонах открытой тектонической трещиноватости. В таких зонах, видимо, и возникли локальные скопления вод, нагретых магматическими эманациями до высоких температур. Термально измененные породы и минеральные новообразования в трещинах изолировали эти водоносные зоны от водообильных четвертичных лав. В случае нарушения сплошности водоупора и местного падения давления возникают очаги вторичного вскипания перегретых вод. Если они малы, то пар полностью поглощается холодными водами, а на поверхности появляются теплые источники, такие, как Промежуточные или Кальдерные. На Нижнекошелевском участке очаг вскипания был достаточно мощным, поэтому сформировался паровой столб, «протыкающий» холодные водоносные горизонты. Термоартезианского напора оказалось недостаточно для того, чтобы вывести на поверхность перегреты воды, по некоторое количество этих вод все же попадает в водоносные зоны над водоупором, о чем говорит повышенное содержание хлора в водах Сивучинских источников.

Несколько иной представляется обстановка на участке Верхнекошелевских парогидротерм. Отметка выхода этих терм на 700 м выше, вынос тепла вдвое превосходит Нижнекошелевские, температура пара больше на 40°, газонасыщенность газопаровой

смеси в 10 раз выше. Принципиальных отличий в химическом составе нет, зато геологическая и гидрогеологическая обстановка отличается значительно. Термовыводящий канал приурочен к наиболее раздробленной части субвулканической интрузии долеритов вблизи контакта с голоценовой экструзией андезито-дацитов. Трещинный коллектор в пределах интрузии располагается между двумя круто падающими разломами под четвертичной вулканической постройкой и, видимо, продолжается в глубину в сильно нарушенной магматическими внедрениями толще плиоценовых андезитов. Вероятнее всего, продолжение этой трещинной зоны на глубину служит выводящим каналом для магматических эманаии. Центральные части построек стратовулканов всегда отличаются слабой обводненностью (Вакин, 1966, 1968). Породы фундамента под центральной частью вулканической постройки тоже, скорее всего безводные. Поэтому соотношение глубинный пар — инфильтрационные воды в вертикальном трещинном коллекторе таково, что последние полностью испаряются. Здесь, очевидно, создалась «система сухого пара» (White, 1971), частичная конденсация которого происходит лишь в самой приповерхностной зоне.

Не исключена и другая схема: под этой частью массива в породах фундамента циркулируют перегретые воды, которые вскипают на большой (относительно участка выхода терм) глубине, а вторичный пар поднимается к поверхности в прогретой вертикальной трещиноватой зоне, так же, как и на Нижнекошелевском участке. Гидравлическая связь между Верхним и Нижним термальными участками остается невыясненной, хотя в принципе она и возможна, общность же источника теплового питания для этих термопроявлений не подлежит сомнению.

Ореол гидрохимических низкотемпературных термоаномалий указывает на большую площадь прогрева в западном секторе Кошелевского вулканического массива. Во всем этом секторе могут существовать трещинные зоны со скоплением перегретых вод и «слепые», без выхода на поверхность, ловушки пара. Весь этот участок перспективен для разведки промышленных запасов парогидротерм. Даже естественный вынос тепла, наблюдаемый здесь, отражающий нижний предел возможных запасов месторождения подземного тепла, мог бы обеспечить работу геотермальной станции мощностью около 30 тыс. кВт. Ресурсы месторождения, несомненно, выше. Разведка должна быть направлена на вывод парогидротерм в удобных для эксплуатации местах.

ЛИТЕРАТУРА

Аверьев В. В., Святловский А. Е. Вулкано-тектонические структуры Южной Камчатки.—«Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1961". №6.

Аверьев В. В., Белоусов В. И. Геологический очерк района.— В кн.: Паужетские горячие воды на Камчатке. М., «Наука», 1965.

Вакин Е. А. Условия обводненности некоторых вулканических сооружений юго-восточной Камчатки.— В кн.: Современный вулканизм, т. 1. М., «Наука», 1966.

Вакин Е. А. Гидрогеология современных вулканических структур и гидротермальных систем юго-восточной Камчатки. (Автореф. канд. дис.). М., 1968.

Гонсовская Г. А. Состояние вулкана Кошелева летом 1951 г.— «Бюл. вулканол. станции», 1954. №23.

Зубин М. И., Мелексиев И. В., Таракановский А. А., Эрлих Э. Н. Четвертичные кальдеры Камчатки.— В кн.: Вулканизм и глубины Земли. М., «Наука», 1971.

Иванов В. В. Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки.—«Труды Лаборатории вулканологии АН СССР», 1958, вып. 13.

Ковалев Г. Н. Метод измерения рассредоточенного выноса тепла на термальных полях.— «Бюл. вулканол. станции», 1966, №42.

Набоко С. И. Вулкан Кошелева и его состояние летом 1953 г.— «Бюл. вулканол. станции», 1954, № 23.

Dawson G. B. The nature and assessment of heat flow from hydrothermal areas.— «New Zealand J. Geol. and Geophys.», №7, 1964.

White D. E. Econom. Geology, Vol. 66, №1. January — February, 1971.