

С. И. НАВОКО

## ГЕЙЗЕРЫ КАМЧАТКИ

## ВВЕДЕНИЕ

Гейзеры на Камчатке были известны уже более двухсот лет назад. В классическом двухтомном труде С. Крашенинникова (1755) дано описание гейзеров в долине реки Паужетки и на Больших Банных Ключах на юге Камчатки.

Крашенинников писал, что в долине реки Паужетки «ключи бьют во многих местах как фонтаны, по большей части с великим шумом, в высоту на один и на полтора фута. Некоторые стоят как озера в великих ямах, а из них текут маленькие ручейки».

На Больших Банных Ключах, как отмечал Крашенинников, «бесчисленное множество скважин различной ширины в диаметре, из которых вода бьет вверх аршина на два с великим шумом».

В настоящее время на Камчатке можно выделить три группы гейзеров по степени их интенсивности:

1. прекратившие действие, 2. слабо активные, 3. активные.

Примером района с гейзерами, прекратившими действие, может служить район Киреунских и Больших Банных термальных источников. Первые посетила и исследовала автор этой статьи, вторые описываются по данным Б. И. Пийпа (1937). В обоих районах среди термальных ключей встречаются старые гейзерные бассейны, наполненные горячей водой. Они имеют неправильные очертания диаметром в несколько метров и на дне глубокий канал. Стенки бассейнов покрыты гейзеритом и тонкой мучнистой каменной массой. Вода в них спокойна, с температурой до 93° С. Иногда из канала бассейна поднимаются пузыри газа, волнующие поверхность.

В прошлом деятельность Больших Банных Ключей была более интенсивной. Из приведенной выше цитаты из работы Крашенинникова видно, что в этом районе было множество горловиц, из которых била вода. Последней вспышкой замирающей деятельности ключей гейзерного типа (Пийп, 1937), возможно, явился выброс фонтана кипящей воды в 1889 г. вследствие провала.

Примером района с слабо активными гейзерами может служить район Паужетских термальных источников. Среди горячих ключей до сих пор есть еще действующие гейзеры.

Приведем описание, заимствованное из статьи А. И. Морозова (1951): «Из всех ранее существовавших гейзеров остался только один небольшой гейзер-лиллипут, выбрасывающий струю кипящей воды точно через 15 минут на высоту 0,8—1 м. Продолжительность действия его около одной минуты».

О былой активности Паужетских гейзеров говорят мощные отложения гейзерита на площади в  $350 \times 120$  м с многочисленными следами бывших здесь гейзеров. В этом районе за последние столетия интенсивность гейзеров значительно упала, о чем можно судить из сравнения последних наблюдений с описаниями Крашенинникова.

Бурно действующие гейзеры были обнаружены в 1941 г. научным сотрудником Кроноцкого заповедника на Камчатке Т. И. Устиновой. Вначале она открыла только один гейзер — в долине реки Шумной, назвав его Первенцем; впоследствии же в долине левого притока Шумной ею был открыт еще ряд горячих источников, среди которых больше двадцати активных гейзеров. Приток реки Шумной получил название реки Гейзерной, а гейзеры — Великан, Фонтан, Жемчужный, Большой, Малый, Сахарный и др. Таким образом, на территории СССР были открыты мощные гейзеры.

В. И. Влодавец в 1946 г. спустился в Долину гейзеров и свои впечатления о гейзерах изложил в научно-популярной книге «Вулканы Советского Союза».

В 1949 г. в Долине гейзеров был снят научно-популярный фильм «Гейзеры Камчатки». К сожалению, наряду с прекрасными кадрами величественности извержений гейзеров передать не удалось.

Наиболее полно изучены гейзеры Т. И. Устиновой, напечатавшей пока только часть результатов своих исследований (Устинова, 1946<sup>1, 2</sup>; 1949).

Автор настоящей статьи совместно со студентом Моск. обл. пед. ин-та И. И. Гуценко летом 1951 г. наблюдала режим гейзеров и изучала проявления фумарольной и сольфатарной деятельности расположенного в этом районе вулкана Кихпинича.

Результаты наблюдений изложены в настоящей статье.

Изучение гейзеров и особенно их извержений показывает необходимость точной терминологии, определенной номенклатуры и техники наблюдений. В мировой литературе в результате длительной практики изучения гейзеров уже сложилась кое-какая номенклатура (Fix, 1939), и автор использовала ее в этой статье.

Особенность проявления гейзеров — цикличность и периодическая повторяемость.

Циклом надо называть законченный круг проявления деятельности гейзера, начиная от какого-то определенного исходного момента и до нового его повторения, например, от момента переливания воды через край грифона до нового начала переливания ее после происшедших фонтанирования, покоя, наполнения или от начала одного фонтанирования до начала следующего фонтанирования и т. д.

Дать определенный отправной момент начала цикла затруднительно, так как для каждого гейзера характерны свои ярко выраженные моменты, от которых и удобно исчислять начало цикла. Общим для всех гейзеров является то, что через какой-то промежуток времени, различный для каждого гейзера, повторится начальный момент, и цикл начнется снова.

Цикл, по-нашему, удобнее всего разделить на четыре фазы: покоя, подготовки, извержения и пара.

**Фаза покоя** — часть цикла от момента прекращения выделения пара до появления воды на дне канала в случае, если после извержения он полностью опоражнивается. В случае же неполного опоражнения, когда после извержения в канале на какой-то глубине имеется вода, моментом окончания стадии покоя надо считать начало повышения уровня воды по сравнению с самым низким.

**Фазой подготовки** надо считать часть цикла от начала повышения уровня воды в канале до момента начала подбрасывания воды выше краев грифона.

Фаза подготовки состоит из трех стадий: наполнения, излияния и кипения.

Стадия наполнения начинается с момента начала подъема воды в канале и оканчивается моментом, когда вода достигает краев грифона.

Стадия излияния считается с момента начала переливания воды через край грифона до момента начала вскипания.

Стадия кипения определяется не точно; моментом окончания ее мы считаем начало всплескивания воды выше краев грифона. С этого момента начинается фаза извержения.

Фаза извержения делится на стадии подъема, максимума и спада.

Стадию подъема мы исчисляем с момента начала всплескивания воды выше краев грифона со все нарастающей силой до максимального фонтанирования. У некоторых гейзеров эта стадия складывается из всплесков и пауз.

Стадия максимума — часть фазы извержения, когда вода фонтанирует на самую большую высоту. У одних гейзеров это короткий момент, у других он растягивается на некоторое время. Иногда стадия максимума состоит из перемежающихся максимумов, разделенных периодом подбрасывания воды на меньшие высоты или даже покоем. Кончается максимум началом уменьшения величины и силы фонтана.

Стадия спада продолжается до прекращения фонтанирования воды и характеризуется непрерывным уменьшением величины фонтана.

Фаза пара начинается с прекращения фонтанирования водой. Она делится на стадию бурного выделения пара либо в форме струи, либо непрерывного столба или клубов, сопровождающихся отчетливыми звуками — ревом, клокотом, свистом, и стадию эмиссии. Бурное выделение пара во многих случаях начинается с началом извержения, однако фазой пара будем считать часть цикла, когда вода уже не фонтанирует, а происходит выделение только пара. Бурное выделение пара постепенно ослабевает и сменяется эмиссией; пар выделяется спокойно и не сопровождается звуками. С прекращением выделения пара начинается новая фаза покоя.

Необходимо иметь в виду, что не все гейзеры имеют полный цикл. Иногда отсутствуют стадии излияния, кипения и пара, но для всех гейзеров обязательны фазы извержения, покоя и в фазе подготовки — стадия наполнения.

Ниже приведены понятия, которые вкладывались в используемые автором термины.

Гейзерами мы считаем периодически фонтанирующие термальные источники с фазой покоя больше минуты (последнее условно).

Если фаза покоя меньше минуты, то такие источники мы называем пульсирующими.

Гейзерной постройкой называется сооружение, возвышающееся над грифоном или каналом гейзера. Но постройки может и не быть.

Грифон гейзера — бассейн, имеющий некоторое расширенное пространство над выходом канала, который (канал) располагается или на дне, или в стенках грифона. Бассейн имеет форму, приближающуюся то к яме, то к маленькому озероподобному водоему.

Канал — труба или щель на дне или в стенках грифона, уходящие вглубь. Грифон может отсутствовать, и тогда канал прямо выходит на поверхность. Если грифон заполнен водой, канал может быть невидим, но часто определяется по выделению пузырей газа.

Высота фонтана, столба воды, пара — вертикальное расстояние от устья грифона до максимальной точки их распространения. Высота

фонтана не совпадает с расстоянием перемещения воды, пара в тех случаях, когда канал наклонный и фонтан бьет под углом.

Частота извержений — число циклов в единицу времени. Для камчатских гейзеров удобно брать за единицу времени сутки.

Пульсация — число взлетов струй воды в единицу времени во время извержения гейзера.

## I. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕЙЗЕРОВ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

Периодически бьющие горячие источники были названы гейзерами по имени Большого Гейзера в Исландии, где эти явления были впервые открыты. Наиболее ранние сведения о Большом Гейзере относятся к 1294 году.

Гейзеры представляют одно из редких явлений в природе. Самые известные области развития гейзеров — это Исландия, Северная Америка (Йеллоустонский национальный парк), Новая Зеландия. Гейзеры встречаются также в Калифорнии, Японии и других местах земного шара. Но надо отметить, что гейзеры и в местах их распространения составляют небольшой процент от общего числа горячих источников. Так, в Исландии из 7000 известных в настоящее время горячих источников только 30 гейзеров, т. е. гейзеры составляют около 0,5%. В Йеллоустонском национальном парке насыщенность большая, чем в других местах; там известно около 200 гейзеров, что составляет 10% от общего количества термальных источников (Barth, 1950).

На Камчатке известно более 70 групп термальных источников, и только в двух группах среди преобладающего количества горячих ключей находятся гейзеры, т. е., грубо говоря, насыщенность гейзерами на Камчатке составляет около 3%. Насыщенность же гейзерами в Долине гейзеров значительно большая.

Самым мощным из всех известных гейзеров считается гейзер Вайманг в Новой Зеландии, который во время извержения выбрасывал струю на высоту 450 м, извергая при этом 800 000 кг воды.

Ниже приводятся краткие данные о гейзерах мира.

**Исландия.** Во всех частях страны встречаются термальные источники, среди которых преобладают источники с щелочной водой. Группируются они на больших тектонических линиях. Связь этих источников с современными движениями в земной коре доказывается тем, что после землетрясений появляются новые источники и исчезают старые.

Кислые источники известны в 26 местах. Они встречаются в зоне современного вулканизма и связаны с фумаролами и грязевыми котлами. Щелочные источники, осаждающие кремнезем в виде накипи, обнаруживают, по Барту, переходы к кислым кипящим источникам, осаждающим серу и при разложении пород образующих глины, гипсы и сульфаты. В тесной связи с вулканизмом находятся выходы углекислоты. Встречаются как мофетты, так и источники, содержащие  $\text{CO}_2$ .

Гейзеры в Исландии известны с древнейших времен и, как уже было сказано, названы по имени известного исландского «Большого Гейзера».

Долина, где сосредоточено большое количество гейзеров, расположена на высоте около 100 м над уровнем моря, у края огромной ледяной пустыни, образующей возвышенное плоскогорье острова. В долине находится множество больших и малых горячих ключей, кипящих водосмов и гейзеров. На кремневых террасах возвышаются гейзерные постройки в виде то больших, то малых конусов.

Наиболее крупные гейзеры — Большой Гейзер и Строккур. Мелкие гейзеры обладают ритмичностью с регулярными паузами и довольно

постоянной интенсивностью. Прежде крупные гейзеры отличались некоторой регулярностью, но в последнее время они обнаруживают перемены разной продолжительности. Так, у Большого Гейзера и Строккура паузы между извержениями становятся более длительными.

Большой Гейзер имеет притупленный конус из гейзерита, на вершине которого видна плоская котловина около 17 м в поперечнике. В центре располагается канал диаметром до 6 м, глубиной 23,5 м. По расчетам, основанным на скорости осаждения кремнекислоты, определено, что для образования гейзерной постройки потребовалось около 1036 лет.

Гейзер в 1741 г. извергался 3 раза в сутки, в 1751 г. — через неправильные интервалы времени, в 1804 г. — каждые 5 часов, а после этого, вплоть до наших дней — совершенно неправильно и редко. Иногда в течение нескольких недель не происходило ни одного извержения, а затем они следовали одно за другим с перерывами в несколько часов. В течение 20 лет (с 1915 по 1935 г.) гейзер совершенно не действовал, и извержение его было вызвано геологом Траусти Эйнерсеном после искусственного понижения уровня воды в бассейне (Rehm, 1935).

Менее чем в 100 м от Большого Гейзера находится гейзер Строккур, который имеет совершенно другой вид. У него нет высокого кремневого конуса; канал его окружен невысокой каймой из бурой кремневой накипи. Время от времени гейзер дает сильные извержения.

Кроме этих двух крупных гейзеров, в Исландии имеется еще целый ряд больших и малых гейзеров, причем большинство из них — с нерегулярным характером извержения.

**Новая Зеландия.** Многочисленные гейзеры, сольфатары и грязевые фонтаны сосредоточены на северном острове и образуют пояс, в центре которого расположено озеро Таупо, протягивающееся к заливу Пленти. Наиболее замечательные гейзеры находятся в долине реки Вайкато, которая бурно течет по глубокой и узкой долине среди крутых берегов.

Известный гейзер Туяа-те-мимо расположен на каменной площадке, спускающейся от подножия Тутуканских гор к Вайкато. Перед извержением котловина его наполняется до краев водой, которая начинает кипеть все сильнее и сильнее. Вдруг вырывается струя воды, направленная на ЮЮВ под углом в 70°. С шипением и свистом вместе с водой вырываются огромные массы паров, скрывая водяную струю. После полутораминутного фонтанирования сила извержения ослабевает, мощность струи спадает. Через две минуты слышится уже только клокотание. Грифон после извержения делается пустым и представляет собой воронкообразное углубление до 2,5 м глубиной. Наполнение грифона водой происходит за десятки минут перед новым извержением.

Другая область новозеландских гейзеров находится в районе озера Ротомахона. Кремневые террасы этого озера были уничтожены опустошительным извержением Тараверы в 1886 году. Самый крупный источник Татарата окружен террасами кремневого туфа. Бассейн Татараты представляет собой кратероподобную котловину шириной 18 м и длиной 24 м, до края наполненную водой. Татарата извергает громадное количество воды и пара и относится к гейзерам с большим периодом действия.

В 1900 г. в области озера Таравера был открыт гейзер Вайманг, самый большой на земном шаре. Он находится в 4,6 км к юго-западу от озера. Чаша гейзера Вайманг длиной 40 м и шириной 24 м. Действие его очень нерегулярно, и цикл длится от 5 до 30 часов. Иногда энергия гейзера разряжалась в одном выбросе 800 000 кг воды на высоту 457 м. В других случаях он действовал подряд 5—6 часов. Редко, когда пауза покоя Вайманга была больше 30 часов. Режим гейзера стоит в тесной связи с историей озера Таравера и его уровнем воды.

Такая же зависимость наблюдается и у других гейзеров. Например, деятельность гейзера Кроу-Нест в районе Таито зависит от стояния воды в Вайкато; при высоком стоянии воды в озере гейзер извергается через 40 минут, при низком — через два часа.

Йеллоустонский национальный парк в Северной Америке. Район распространения гейзеров находится на границе Вайоминга и Монтаны в области истоков Йеллоустона, Мадлона и Снека на высоте 2300—2670 м. Область гейзеров занимает территорию в 8000 км<sup>2</sup>, где и находятся среди многочисленных термальных источников, сольфатар и грязевых вулканчиков около 200 гейзеров.

В 1869 г. Кун и Фальсон сделали первое сообщение о гейзерах Йеллоустонского парка в Геологическом комитете в Вашингтоне, после чего немедленно были снаряжены экспедиции для геологического и географического исследования этого района. Сначала туда отправлялись только хорошо снаряженные экспедиции, но затем к гейзерам была проведена железная дорога, и эта замечательная область гейзеров и терм была объявлена собственностью государства и названа Национальным парком. Некоторые гейзеры Йеллоустона превосходят грандиозностью своего действия исландские гейзеры и выбрасывают фонтаны воды высотой до 80 м. Самый величественный гейзер — Великан, конус которого достигает 3 м в высоту и 5,5 м в поперечнике. Период покоя его продолжается в большинстве случаев 3 дня, на 4-й день происходит извержение, длящееся 3,5 часа и сопровождающееся выбрасыванием воды на высоту 40—60 м. Извержение оканчивается стремительным выделением пара. Близкий характер извержения отмечен у гейзера Великанши. Паузы у этого гейзера длятся иногда несколько дней, за ними следует извержение с перерывами в несколько часов. При извержении гейзера Замка, названного так по сходству кремнистого конуса с развалинами замка, вода подбрасывается на высоту 28 м, а пар — на высоту 35 м. Извержение заканчивается бурным выделением пара. Гейзер Улей имеет правильный конус высотой около 1 м, из которого обычно раз в день происходит извержение; на высоту 60—70 м вылетает струя воды.

Особое место в ряде гейзеров занимает гейзер Старый Служака, который обладает наиболее правильной ритмичностью.

Через каждые 40—80 мин. происходит извержение, и на высоту до 46 м взлетает мощная струя воды.

В Йеллоустонском парке имеются примеры самой разнообразной деятельности гейзеров, и наблюдается множество переходов от мощных и величественных гейзеров до маленьких, как, например, Минутный Человек, который выбрасывает каждые 0,5—3,5 мин. воду на высоту 7 м.

Япония. Известен ряд гейзеров на Японских островах. Интересно поведение гейзера Атами на о-ве Ицу. Обычно этот гейзер выбрасывал небольшие струи воды на высоту 0,5 м через регулярные интервалы времени, равные 5 часам. Однако ритмическая деятельность его нарушалась и сменялась нерегулярными извержениями воды и пара, которые длились по 12 часов подряд. Во время таких извержений выбрасывалось до 45 м<sup>3</sup> воды и 800 кг пара со скоростью 15—24 м/сек. В некоторые годы извержение наступало ежемесячно, в другие периоды — 2—3 раза в год.

Гейзеры известны и в других местах земного шара. Имеется область гейзеров в Калифорнии. Некоторые из этих гейзеров извергают воду на высоту 15—30 м (Allen a. Day, 1927).

Встречается ряд гейзеров на Новой Гвинее. Большие гейзеры выбрасывают воду в продолжение 2 мин. на высоту до 10 м, меньшие — на высоту только 1 м. Самый большой гейзер выбрасывает воду через 5—6 часов на высоту 14 м.

В Тибете на высоте 4800 м над уровнем моря наблюдали гейзер, извергающий воду на высоту 12—15 м (Barth, 1950).

Кратковременные гейзеры отмечены на вулкане Виего в Чили, в кратерном озере Санта-Мария в Гватемале, в Поас в Коста-Рике, в сильно разрушенном вершинном кратере на высоте 6080 м в Пуе де Амаками и в других местах (Wolff, 1914).

Открытые в недавнее время гейзеры в Долине гейзеров на Камчатке по величине и силе извержений не уступают знаменитым гейзерам Исландии, Новой Зеландии и Йеллоустонского национального парка.

## II. ГЕЙЗЕРЫ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ НА КАМЧАТКЕ

### 1. Район гейзеров

Гейзеры находятся на восточном побережье Камчатки, к югу от Кроноцкого озера, в долине реки Гейзерной, берущей начало с подножия вулкана Кихпинича и впадающей в реку Шумную.

Район гейзеров сложен комплексом вулканических пород постплиоценового возраста. Севернее эти породы подстилаются третичными породами, представленными фаунистически охарактеризованными морскими отложениями, смешанными с туфогенным материалом.

Комплекс вулканических пород имеет значительную мощность (до 500 м) и сложен лавами, преимущественно андезитами и дацитами, и туфами от пепловых до более грубых дацитового и дацито-риолитового состава.

Река Гейзерная глубоко врезается в дол и вскрывает вулканогенную толщу. В верхней части дола обнажаются красные и более темные андезиты. Лава перекрывает белый пемзовый и пепловый туф, мощность которого превышает 100 м. Нижняя граница толщи вулканических пород не обнажается, и нам не удалось обнаружить подстилающих их пород.

В районе гейзеров лавы плотные и пористые, от черных до красных, афанитовые и порфиоровые. Под микроскопом различаются микропорфировая, порфировая и гломеропорфировая структуры. Наблюдаются вкрапленники, в одних случаях плагиоклаза, моноклинного и ромбического пироксена, в других — плагиоклаза и роговой обманки. Основная масса гиалопилитовая, витрофировая, флюидная. Стекловатые участки чередуются с более раскристаллизованными. Показатель преломления стекла равен 1,53 и меньше. Породы пронизаны жилками кварца; в порах — цеолиты, иногда карбонаты.

В описанных образцах окварцевание, карбонатизация и цеолитизация не связаны с нынешней гидротермальной деятельностью, так как образцы были взяты свежие, вне района воздействия термальных вод.

Туфы белого и розоватого цвета, легкие, с раковистым изломом. Под микроскопом порода обладает кристалло-витрокластической и витрокластической псаммитовой структурой с пепловой связывающей массой. Обломки стекла, пемзы и минералов погружены в тонкозернистую массу, прозрачную, состоящую из осколков стекла, имеющих причудливые формы в виде коготков и черепков. Стекло кислое, с показателем преломления 1,53 и меньше. Порода участками окварцована и карбонатизирована. В районе термальных ключей и гейзеров туфы разложены и превращены в глинистые массы из каолинита и галлуазита.

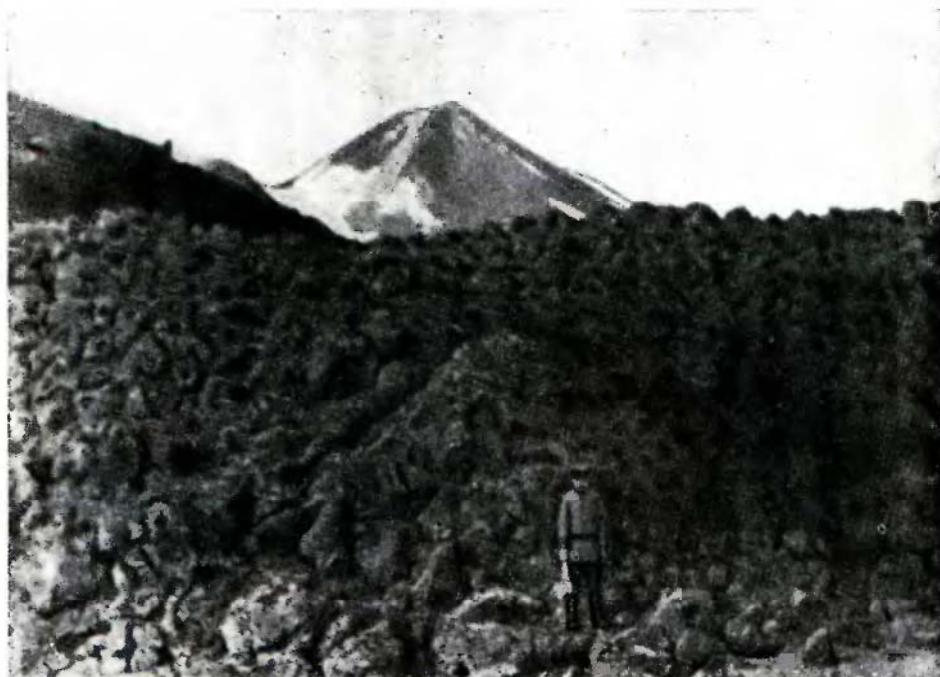
Район гейзеров характеризуется проявлением современного вулканизма, выраженного здесь в интенсивной сольфатарной деятельности.

Недалеко от района гейзеров, несколько западнее, возвышается вулкан Узон. В его кальдере, по данным Б. И. Пийпа (1937), множество

сольфатар, паровых струй, грязевых вулканчиков и термальных источников.

Южнее расположена группа Семячских вулканов. На Большом и Малом Семячке сосредоточены мощные сольфатары, паровые струи, горячие вскипающие озера типа гейзеров, грязевые вулканчики, котлы и многочисленные кипящие и термальные источники (Влодавец, Морозов, Троицкий, 1940; Устинова, 1947; Влодавец, 1949).

Ближе всего к гейзерам расположен вулкан Кихпиныч. Он возвышается на лавовом долу и кажется большим массивом, на вершине северной части которого находится идеальной формы молодой конус Савича. Из вершины конуса Савича поднимается пар. Вытянутый в северо-восточном



Фиг. 1. Конус Савича и его лавовый поток.

направлении хребет представляет центральную часть вулкана с вырванным восточным сектором. Западные, южные и северные хребты составляют периферическую сохранившуюся часть вулкана. На этих хребтах прекрасно видно строение старого стратовулкана Кихпиныча — пласты лавы чередуются с не менее мощными пластами туфа. Падение пластов восстанавливает форму вулкана; кратером его надо считать место большого развала Центрального гребня. Породы этой части вулкана переработаны фумарольными газами в алунино-опаловую массу.

Лава старого Кихпиныча относится к двушроксеновому андезито-базальту. Порода обладает порфировой структурой с гиалопилитовой структурой основной массы. Вкрапленники: лабрадор-битовнит, диопсид-авгит и гиперстен.

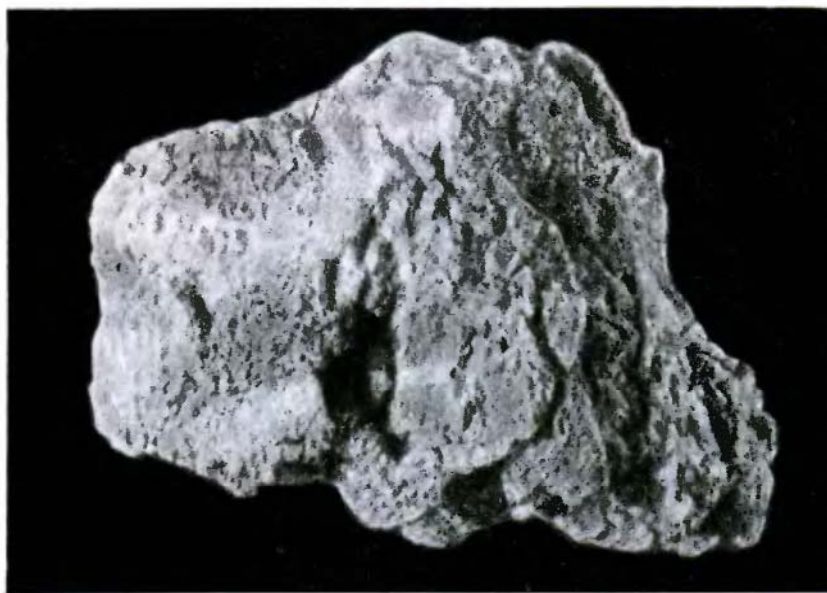
Кратерная депрессия сложена белой алунизированной породой. Под микроскопом видна реликтовая структура то лавы, то туфа.

Самый молодой конус Савича (фиг. 1), как уже было сказано, находится на Кихпиныче, в самой северной его части, и имеет относительную высоту 115 м. Рядом с ним виден другой, более старый, шлаковый конус



Безымянный. Конус Савича сложен черной, участками красной, шлаковой лавой. Склоны покрыты еще подвижными осыпями. От подножия конуса отходят лавовые потоки черного андезито-базальта. Порода обладает порфировой структурой с гналопилитовой структурой основной массы. Вкрапленники: плагиоклаз-лабрадор и гиперстен.

Возникновение шлаковых конусов и лавовых потоков относится к самому недавнему времени. Все носит следы молодости: осыпи подвижны; глыбы, лавы не покрыты лишайником; район подножия покрыт мощным слоем вулканического пепла, который до настоящего времени еще рыхлый; в кратере сохранилась фумарольная деятельность.



Фиг. 2. Порода, измененная фумарольными газами на кратере Савича (нат. вел.).

Фумарольная деятельность Кихпинича проявляется на молодом шлаковом конусе Савича, на внутренних стенках кратера, внешних склонах конуса в привершинной части, а более слабая — на вершине соседнего с Савичем конуса.

В наше посещение кратера Савича в августе 1951 г. фумарольная деятельность была слабая, газ выделялся не интенсивно и состоял преимущественно из паров воды. Максимальная температура была 82°. В местах выхода фумарол лава разложена и превращена в кирпично-красную глинистую массу и светлорозовый песок. Глина, судя по кривой нагревания (эндотермический эффект при 480—550° и экзотермический эффект при 960°) и оптическим данным, является галдуазитом. Под микроскопом видно в проходящем свете много непрозрачных черных и яркокрасных в отраженном свете зерен, растворимых в HCl и представляющих, вероятно, лимонит. Розовый песок состоит из опала (N около 1,46) и аллофана (изотропный, N=1,486).

На кромке кратера встречены образцы алуинитизированной лавы с корочками волокнистого и пластинчатого гипса (фиг. 2).

В момент нашего посещения кратера Савича возгонов не образовывалось вследствие неблагоприятных условий для их образования: погода была сырая, да и концентрация газов была очень небольшой. При взятии

пробы газа в ампуле сконденсировалась вода, в которой качественными реакциями установлено присутствие  $\text{SO}_4$ . В газовой части определено содержание  $\text{CO}_2$  — 1,55% и  $\text{N}_2$  — 2,46%, остальное составляют пары воды и воздух (анал. Л. А. Башариной).

Судя по остаточным продуктам — галлуазиту, лимониту, опалу, алууниту, гипсу, можно отметить, что фумарольные газы относились к группе серы и были в прошлом достаточной концентрации. Однако десять лет назад фумаролы, по наблюдениям Т. И. Устиновой (1948), имели приблизительно ту же интенсивность, температуру и концентрацию (температура в 1941 г. колебалась от 72 до 86°, запаха не ощущалось).

Сольфатарная деятельность в районе Кихпиныча в основном проявляется по долине реки Гейзерной. Река Гейзерная берет начало на юго-западном склоне Кихпиныча с подножия Белой горы; здесь обильны сероводородные струи и слаботермальные сероводородные ключи. Ключи вытекают со дна V-образных оврагов из рыхлой разложившейся белой опалитизированной и алуунитизированной породы подножия Белого купола. Температура воды во время взятия пробы 1 сентября 1951 г. была 18°.

Вода Кихпинычских источников натрово-сульфатная с Al, Mg и Ca, одна из самых кислых из известных на Камчатке вод источников ( $\text{pH}=2,15$ ). В отношении кислотности она близка к узонским сольфатарным водам, но отличается от них низкой температурой.

По данным Устиновой (1948), у подножия Белой горы имеются и горячие площадки с сероводородными ключами, но в наше посещение их не было.

Кислые ключи, подобные описанным выше, выходят и у подножия Кихпиныча со стороны восточного склона, беря начало с алуунитизированных белых пород Кратерной депрессии. Автор при подъеме на Кихпиныч с восточной стороны видел холодный ручей, текущий среди ольхаха с подножия Кихпиныча и впадающий в реку Мутную. Вода ручья на вкус кислая, сильно пахнет сероводородом. Ручей назван Кислым ключом. К истокам его подняться не удалось.

В районе Кихпинычских ключей склоны оврага покрыты слоем землистой самородной серы светложелтого цвета (сера — 78,36%, зола — 21,64%; анал. Н. Н. Шавровой). Происхождение упомянутых источников не вполне ясно. Если бы они имели высокую температуру, то их можно было бы считать аналогичными узонским, где происходит смешение сольфатарных газов с грунтовыми водами. Однако низкая температура и одновременно высокая кислотность не могут быть объяснены большим разжижением сольфатар грунтовыми водами, охладившими их.

Вода ключей, берущих начало с западных склонов Белой горы, смешиваясь с тальми снеговыми водами, образует истоки реки Гейзерной, которая у подножия Кихпиныча врезается в дол и течет в глубоком ущелье в реку Шумную.

Долина реки Гейзерной сложена молодыми вулканическими породами — лавами и туфами андезитового и дацитового состава. Длина реки около 8 км. В самом верховье, где многочисленные ручьи собираются вместе, река врезается в дол примерно на 200 м. Долина ее здесь не широка, берега крутые. В среднем течении на левой стороне появляются террасы, долина расширяется до 1 км и врезается в дол на 250 м.

Тальвег реки неровный, участки с относительно спокойным течением чередуются с порогами. Среднее течение реки заканчивается тремя водопадами. Ниже водопадов долина расширяется и имеет юго-западное направление до самого устья. На своем восьмикилометровом протяжении она снижается на 400 м и врезана глубоко в дол.

В верхнем течении реки Гейзерной в 2—3 км от подножия Кихпинича обнаружены активные термальные площадки. На левом берегу реки сосредоточены сольфатары, паровые струи, грязевые котлы, кипящие озера, кипящие колодцы и термальные источники. Берег сложен цветными глинами. В более высоких частях долины на площадках непрерывно выделяются пары; температура глины на поверхности в местах выхода газа при 14° воздуха была 42—44°, но на глубине 10—15 см достигала 97—127°. На поверхности таких участков вокруг выступающих глыб отлагались белые растворимые сульфаты в виде корочек, розеток и ажурных оторочек. Под поверхностной корочкой обнаружены скопления янтарно-желтой самородной серы и опала.

Газы и пары выделяются не только со всей площади, но и из ярко выраженных устьев в виде струй, вырывающихся с шумом и свистом. Устья представляют собой округлые каналы, окруженные коркой кристаллической серы.

Ниже по склону берега у зеркала реки распределяются кипящие грязевые лужи, озера, колодцы и термальные источники. В колодцах вода ритмично вскипает и подбрасывается на высоту 10 см. Стенки некоторых колодцев покрыты травертином. Температура воды 97,5°. Наряду с горячими озерами и ритмически вскипающими колодцами часты тишечные горячие источники с температурой воды от 38 до 80°. В руслах их обильны скопления термофилов.

Состав и вкус воды источников неодинаков. Вода в одних источниках была явно кислой, в других — безвкусной. Источники с большим дебитом имели рН — 5,7—6,2. Состав воды магниезально-кальциево-сульфатный.

Выделяющиеся пары были насыщены сероводородом. В пасмурную погоду запах сероводорода чувствовался настолько сильно, что вызывал тошноту. У выходов сольфатар отлагалась сера. В ампуле при взятии пробы газа сконденсировалась вода, и на ее поверхности плавала желтая сера. В пробе газа Л. А. Башариной определено содержание  $\text{CO}_2$  — 1,15%,  $\text{N}_2$  — 4,02%, остальное — пары воды и воздух. Лавы и туфы в районе сольфатар, паровых струй и термальных источников полностью разложены и превращены в глинистые массы из адунита, каолинита и опала.

Вниз от Верхнегейзерных источников в нижнем течении реки сосредоточена большая часть гейзеров, к описанию которых мы и приступим.

## 2. Расположение гейзеров в долине р. Гейзерной

Гейзеры сосредоточены на нескольких термальных участках в долине реки Гейзерной (фиг. 3) в нижнем ее течении на расстоянии 6 км от подножия Кихпинича, и только один гейзер, названный Т. И. Устиновой Первенцем, располагается вне этой долины на левом берегу реки Шумной, но вблизи устья Гейзерной. Эта часть долины Гейзерной чрезвычайно богата различного рода проявлениями сольфатарного и гидротермального характера, но наличие здесь гейзеров придает ей особый характер.

Выходы паровых струй покрывают крутые склоны преимущественно в высоких частях долины; грязевые котлы, гейзерные ямы, озера располагаются на террасе в средней части долины, в нижних же частях ближе к зеркалу реки среди термальных источников сосредоточено большинство гейзеров. Наиболее активен левый берег реки, на котором сосредоточены почти все гейзеры, за исключением нескольких маломощных.

Нам удалось более детально изучить участок, наиболее насыщенный гейзерами, на котором находятся гейзеры Малый, Большой, Многоструйный, Фонтан, Новый Фонтан, Великан, Жемчужный, Горизонтальный

и мелкие — несколько щелевых, гейзеры-ямы, гейзер-ванна, гейзер-чаша и др.

Участок насыщен множеством выходов паровых струй, грязевых котлов, пульсирующих, кипящих непрерывно, периодически изливающихся термальных источников, горячих озер. В хорошую погоду на фоне параллельных вертикальных струй пара и спадающих каскадами горячих ручьев то тут, то там взлетают в небо фонтаны кипятка, окутанные клубами пара. Вся долина представляет чудное зрелище (фиг. 4). В плохую погоду она окутана густым паром и выглядит очень мрачно и зловеще.

Спускаясь от сольфатарного поля вниз по реке, мы сначала встречаем два небольших гейзера и только после этого попадаем на упомянутый участок высокой гидротермальной деятельности, где сосредоточены



Фиг. 3. Долина реки Гейзерной.

наиболее крупные гейзеры. Этот участок начинается полем мелких гейзеров — на левом берегу на протяжении 50 м находится около десятка щелевых гейзеров и среди них гейзер Горизонтальный. На высоте 10 м видим двойную щель, из которой каждые 2—3 мин. в продолжение 30 сек. на высоту 50 см взлетает маломощная струя кипятка; в 8 м ниже по реке крутой склон с высоты 12 м покрыт гейзеритом и термофилами, и на этой полосе располагается три щелевых гейзера: верхний, средний и нижний; несколько ниже по реке поднимается односторонний крутостенный конус (Нижний щелевой; фиг. 5), поверхность которого покрыта гейзеритом; гейзер имеет канал в виде щели, из которой периодически выбрасывается вода; недалеко от зеркала реки имеется щель шириной до 12 см, а рядом — еще пять выходов-каналов, в которых либо непрерывно, либо пульсационно кипит вода; еще ниже на крутом склоне выходят четыре канала: в первых трех вода пульсационно подбрасывается вверх на высоту 50 см, в нижний канал вода заливается из реки и периодически из него выбрасывается. Гейзер Горизонтальный заканчивает пояс мелких гейзеров. Прямо от зеркала реки поднимается глыба, в верхней части которой выходят два канала. Гейзер Горизонтальный обладает циклом в полтора часа, фонтанирование же почти горизонтальной струи продолжается лишь 40 сек. Вблизи Горизонтального находится крутостенный односторонний конус, покрытый гейзеритом; у основания

конуса — грязевое озеро. Наверху конуса выходит щель, и из нее каждые 30—35 мин. в продолжение 2 мин. происходит фонтанирование.

Пройдя поле мелких гейзеров, мы подходим к Жемчужному. Он находится вблизи уреза воды. Над каналом возвышаются глыбы, покрытые



Фиг. 4. Долина р. Гейзерной в районе Великана и Фонтана.



Фиг. 5. Гейзер Нижний щелевой.

красивым жемчужным гейзеритом. Жемчужный относится к гейзерам с наиболее длительным циклом. Мощные извержения его происходят через 4—5 часов и продолжаются 4—5 мин. Фонтан воды взлетает на высоту до 15 м.

Недалеко от Жемчужного находится самый мощный Камчатский гейзер — Великан (фиг. 6). Невысоко от зеркала реки, на горизонтальной, ступенчато спускающейся к реке террасе, сложенной гейзеритом, среди мелких гейзеров и термальных источников выходит грифон Вели-

кана. Гейзерной постройки вокруг грифона нет. Грифон размером  $3 \times 1,5$  м и глубиной до 3 м на дне имеет выход канала. Полный цикл Великана длится 2—3 часа, само же извержение кратковременное и длится не более 2 мин. Мощный столб воды взлетает на высоту до 40 м, а столб пара поднимается на сотни метров. На террасе Великана интересны крутостенные конусы, глыбы с каналами, из которых периодически через 1—3 мин. взлетают фонтанчики воды. Глыбы покрыты гейзеритом, который предохраняет их от разрушения. Гейзеритовая терраса окружена парящими глиняными участками, на поверхности которых в хорошую погоду выкристаллизовываются сульфаты Al, Na и K.

Еще вниз по реке недалеко от Великана находится так называемый Ансамбль гейзеров с Фонтаном в центре (фиг. 7). От уреза реки поднимается почти отвесная стена, покрытая гейзеритом и термофилами. В скале выходит до десяти щелевых гейзеров. Большинство из них скорее относится к пульсирующим источникам, но некоторые, как, например, Непостоянный, — к нерегулярным гейзерам с фазами покоя различной продолжительности, сменяющимися фонтанированием на высоту порядка 3—6 м.



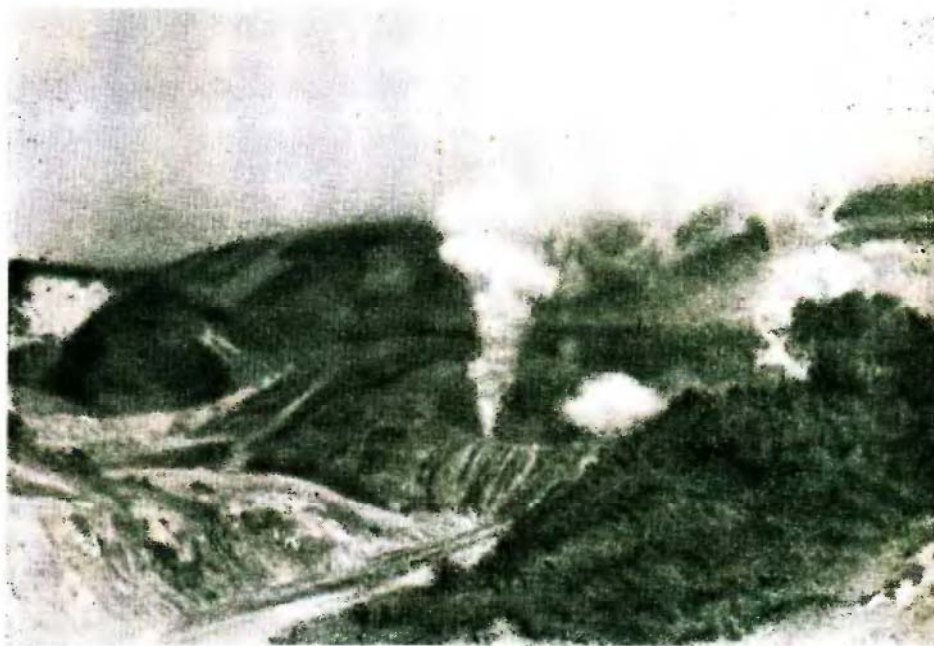
Фиг. 6. Гейзер Великан.



Фиг. 7. Гейзер Фонтан.

Крутая скала заканчивается небольшой площадкой, на которой выходят грифоны Фонтана и Нового Фонтана. Гейзерных построек оба гейзера не имеют. Гейзер Фонтан по своей красоте конкурирует с Великаном. Мощная вертикальная струя его во время извержения взлетает на высоту до 20 м, окруженная клубами пара (фиг. 8).

Продолжительность цикла Фонтана — 20—25 мин., извержение длится 4 мин. Рядом расположенный Новый Фонтан менее мощный, но зато действует почти непрерывно. Его вертикальная двойная струя взлетает на высоту до 8 м, и фонтанирование прекращается только на несколько минут в связи с началом извержения Фонтана, после чего вновь возобновляется. Многочисленные пульсирующие источники почти непрерывно орошают склоны скалы, а во время мощного извержения Фонтана искрящиеся водопады низвергаются по крутой стене в р. Гейзерную. У подножия Ансамбля у самого зеркала реки находится пульсирующий Грот-источник. Струя воды бьет толчками (2—3 всплеска в сек.) на высоту 2 м. Пар столбом поднимается над каналом. Из пониженной части устья грифона непрерывно вытекает вода.



Фиг. 8. Извержение Фонтана.

Выше Ансамбля на высоте 40 м от зеркала реки расположена терраса с разнообразными проявлениями термальной деятельности. На ней встречаются:

- 1) многочисленные паровые струи: а) площадные, б) устьевые;
- 2) грязевые котлы: а) с периодически вскипающей грязью, б) с непрерывно кипящей грязью, в) с спокойной грязью, г) полуустывшие;
- 3) гейзеры: а) гейзеры-ямы, у которых каналы выходят в большие поверхностные камеры, б) гейзер-ванна с каналами в стенке ванны, в) гейзер-чаша с каналом на дне озера;
- 4) трубы: а) периодически заполняющиеся кипящей водой, б) постоянно заполненные кипящей водой;
- 5) горячие ключи: а) периодически истекающие, б) непрерывно истекающие;
- 6) горячие озера: а) с периодически поступающей и уходящей водой, б) с устойчивым уровнем без стока, в) с непрерывным стоком;
- 7) теплые озера и ключи.

На поверхности в местах пропаривания, в усохших водоемах в хорошую сухую погоду образовывались обильные отложения солей — сульфатов алюминия, магния и щелочей.

За Ансамблем гейзеров вниз по реке на крутом склоне на высоте 10 м от зеркала реки находится гейзер Многоструйный. В нишеобразном углублении на пологой куполообразной гейзерной постройке имеется щель, в которой выходят несколько канальчиков; из них во время извержения фонтанируют тонкие струйки. Гейзер не мощный, извержения происходят через 30—40 мин. и продолжаются около одной минуты. Струи воды взлетают всего на высоту 2 м.

За поворотом реки обособленно располагаются два гейзера — Большой и Малый. Первый — на высоте 6 м от зеркала реки, второй — над ним, на высоте 17 м. Несмотря на то, что оба гейзера находятся поблизости друг от друга, действуют они каждый в своем ритме. Цикл Большого — около полутора часов, Малого — около получаса. Извержения этих гейзеров очень мощные. Фонтаны воды в продолжение 4—5 мин. взлетают на высоту до 15 м.

В 300 м ниже по реке среди горячих ключей находятся два гейзера: один на правом берегу реки, другой — на левом. На правом берегу вблизи уреза воды открывается отверстие размером  $1,5 \times 1$  м, уходящее вглубь (гейзер Большая печка). Во время извержения три струи воды в сопровождении пара под углом 8—10° бьют над рекой на расстояние 4—5 м. Полный цикл 20 августа 1951 г. длился 6—8 мин., извержение — около 2 мин. На левом берегу в 5 м над водой выходит грифон размером  $30 \times 20$  см. Полный цикл гейзера длится около 10 мин., извержение — около 2 мин. Во время извержения струи воды взлетают на высоту 1 м; пара выделяется мало. После извержения вода покрывает дно грифона и, постепенно прибывая, заполняет его; истечение воды длится 1—2 мин.

Вблизи этих гейзеров находится несколько пульсирующих источников и паровых струй.

В 0,5 км от описанных гейзеров на левом берегу есть еще два гейзера; один из них, расположенный на склоне долины в 35 м над рекой, извергает преимущественно пар<sup>1</sup>.

В устье небольшого ручья, также на левом берегу реки, среди мелких пульсирующих источников расположена группа гейзеров. На левом берегу ручейка располагается гейзер Тройной, на правом — Сахарный. Ниже грифонов склоны долины покрыты коркой гейзерита.

Гейзер Тройной имеет три отверстия, которые, вероятно, внизу сообщаются между собой. Извержение происходит одновременно из трех отверстий, но средний грифон действует дольше всех. Его мощная струя под углом в 60° бьет на расстояние 18—20 м. Западный грифон фонтанирует только в начале извержения, которое сменяется пульсационным излиянием. Из восточного грифона во время извержения струя бьет непрерывно на высоту 2 м. Полный цикл извержения длится около двух с половиной часов, само извержение — около 8 мин. После извержения грифон наполняется водой в течение полутора часов, и за 40 мин. до извержения начинается излияние из западного грифона; в двух других грифонах в это время вода плещется, но не изливается.

Гейзер Сахарный относится к нерегулярным гейзерам. Его грифон после извержений опоражнивается. Фаза покоя заканчивается пульсационным выталкиванием воды, которая толчками быстро наполняет грифон. Вода, вскипая, изливается из грифона и выбрасывается вверх на высоту 1 м. Иногда таких вскипаний бывает несколько, обычно же —

<sup>1</sup> Этот и следующие гейзеры описаны по данным Т. И. Устиновой (1946).



по одному. Паузы длятся чаще всего около 3 мин., но бывают промежутки и в 0,5 — 1 или 6—7 мин. Количество воды, выбрасываемое при вскипании, неодинаково.

У основания гейзера Сахарного находится небольшой гейзер с грифоном  $1 \times 0,5$  м. Цикл его около 8 мин., извержение продолжается полторы минуты. Во время извержения вода тонкими струйками выбрасывается на высоту 5—6 м.

Вне долины реки Гейзерной, как уже было сказано, находится только один гейзер Первенец. Он расположен на левом берегу р. Шумной, вблизи устья р. Гейзерной. Грифон гейзера размером  $1,5 \times 0,75$  м и глубиной в 1,5 м выходит на обнаженной термальной площадке среди мелких выходов горячих ключей. После извержения грифон остается пустым. Спустя некоторое время из канала, находящегося на дне грифона, начинают выбрасываться струи воды, в глубине канала слышен грохот. В течение 4 мин. вода выбрасывается из канала, но в грифоне не задерживается и стекает обратно в канал. Наконец, вода начинает покрывать дно грифона, потом медленно наполняет его. Повышение уровня воды в грифоне идет толчками, чередуясь с незначительными понижениями. Через 20 мин. после извержения вода начинает переливаться через край грифона. После пятиминутного спокойного излияния начинается вскипание. Промежутки между вскипаниями сокращаются, и, наконец, вода кипит непрерывно. Вода выплескивается сначала на высоту в несколько сантиметров, затем все выше и выше, и затем с грохотом взлетает косо направленный столб воды на высоту не менее 12 м; пар столбом поднимается примерно на 150 м. Фонтанирование продолжается полторы минуты, следующие полминуты извергаются клубы пара, сменяющиеся парением. Гейзер вступает в фазу покоя.

По форме, характеру и силе извержений гейзеры очень разнообразны. У одних гейзеров канал выходит на поверхность, у других — в яму, у третьих — в водоемы (озера). Полный цикл извержений, периоды между ними, сами извержения имеют неодинаковую продолжительность — от нескольких часов до нескольких минут. У одних гейзеров длительная фаза покоя, но кратковременное извержение, у других, наоборот, короткий покой, но длительное извержение; ряд гейзеров имеет относительно продолжительные периоды покоя и извержение, или, наоборот, короткие. Нарастание силы извержения у одних гейзеров медленное, постепенное, до максимума с таким же медленным спадом, у других — быстрое, и максимум наступает сразу же после начала извержения. Высота извергающегося столба воды различная — от десятков метров до нескольких сантиметров. У многих гейзеров канал после извержения свободен от воды (пуст), причем у одних в течение длительного, у других — короткого времени, но есть гейзеры, у которых вода в канале бывает всегда. Встречаются гейзеры, окруженные мощными отложениями гейзерита, но есть гейзеры и с тонкими пленками его.

Гейзеры в долине р. Гейзерной можно различать по следующим признакам.

- I. По характеру выхода канала.  
Гейзеры с грифоном или каналом:
  - а) выходящим на поверхность,
  - б) выходящим в яму,
  - в) выходящим в водоем.
- II. По характеру извержения.
  1. По длительности цикла:
    - а) с длительным циклом,
    - б) с коротким циклом.

2. По наличию фаз и стадий в цикле:
  - а) с полным циклом,
  - б) с неполным циклом.
3. По степени регулярности:
  - а) действующие регулярно, относительно точно,
  - б) действующие неточно.
4. По соотношению в цикле фазы покоя и фазы извержения:
  - а) с длительной фазой покоя и короткой фазой извержения,
  - б) с короткой фазой покоя и длительной фазой извержения.
5. По степени развития напряжения во время извержения:
  - а) с непрерывно развивающимся напряжением, доходящим до максимума, и с таким же постепенным спадом,
  - б) с быстро развивающимся напряжением, достигающим максимума в самом начале.
6. По соотношению количества воды и пара в фазе извержения:
  - а) с большой фазой пара,
  - б) с малой фазой пара.

Перечисленным, конечно, не исчерпывается все разнообразие гейзеров Камчатки.

Каждый гейзер в отдельности имеет более или менее постоянный и закономерный характер деятельности.

Описание гейзеров приводится в соответствии с приведенным выше разделением.

### 3. Описание режима гейзеров

#### а) Гейзеры с длительным и коротким циклом

Как уже было сказано, гейзеры имеют циклы совершенно разной длительности. Самый большой цикл у Жемчужного — до 5 часов и самый короткий — у гейзеров-ям — 2,5 мин., если не считать пульсирующие источники, у которых короткие паузы сменяются всплескиванием воды на высоту порядка 1 м (в 1 мин. происходит 2—3 всплеска).

Ниже приводится перечень гейзеров с указанием длительности циклов (наибольших).

Гейзеры	Длительность цикла, мин.	Гейзеры	Длительность цикла, мин.
1. Жемчужный . . . . .	301	11. Малый . . . . .	36
2. Великан . . . . .	228	12. Центральный целевой . . . . .	35
3. Непостоянный . . . . .	180,	13. Фонтан . . . . .	28
	а может быть, больше	14. Верхний целевой . . . . .	16
4. Тройной . . . . .	145	15. Трехструйный . . . . .	9
5. Новый Фонтан . . . . .	131	16. Напротив печки . . . . .	9
6. Горизонтальный . . . . .	102	17. Возле Сахарного . . . . .	8
7. Большой . . . . .	101	18. Малая печка . . . . .	4
8. Нижний целевой . . . . .	67	19. Сахарный . . . . .	3
9. Первенец . . . . .	63	20. Гейзер-има . . . . .	2,5
10. Многоструйный . . . . .	40	21. Гейзер-ванна . . . . .	2,5

#### б) Гейзеры с полным и неполным циклом

Гейзеры различаются друг от друга по характеру цикла: одни обладают полным циклом, т. е. в цикле присутствуют все фазы и стадии, и они последовательно сменяют одна другую, другие — неполным циклом,

когда в цикле отсутствуют те или иные фазы или стадии, например, стадия кипения или стадии пара. К гейзерам с полным циклом относятся гейзеры Малый, Великан, Жемчужный, к гейзерам с неполным циклом — Фонтан, Новый Фонтан.

**Гейзер Малый** (с полным циклом). Гейзер Малый находится на левом берегу реки Гейзерной на крутом склоне на высоте 6 м от зеркала реки. Гейзерит и термофилы покрывают склон и создают впечатление, что гейзер имеет односторонний конус. Грифон выходит на поверхность и имеет размер  $1 \times 2$  м и глубину около 1 м. Канал наклонен под углом  $60^\circ$  к юго-востоку, поэтому струя воды при извержении бьет на северо-запад. По обе стороны устья грифона находятся понижения (края), через которые вытекает вода при полном наполнении грифона.

У подножия гейзера у самого зеркала реки выходят мелкие грифончики, в которых почти непрерывно кипит вода и периодически подбрасывается вверх на несколько сантиметров.

Начнем описание полного цикла Малого с момента прекращения извержения. Некоторое время грифон пустой и над ним нет даже и следов пара: только рокот в глубине говорит о недавно окончившемся извержении. Через 12—14 мин. после окончания извержения на дне грифона появляется вода, выталкиваемая с брызгами из канала. Пар почти не выделяется. Наполнение грифона продолжается 6—7 мин. Достигнув краев грифона, вода начинает изливаться сначала через один, более низкий, край, потом через другой, расположенный на противоположной стороне грифона. Некоторое время изливание происходит спокойно, поверхность воды гладкая. Пара выделяется очень мало, и он не во всякую погоду виден. Это парит горячая вода. Через 2—3 мин. после начала изливания на поверхности появляются периодически вскипающие участки; с началом вскипания начинает усиленно выделяться пар. Постепенно кипение становится более интенсивным, принимает непрерывный характер и переходит в всплескивание. Пара выделяется все больше и больше. Выплескивающаяся вода сначала достигает небольшой высоты, потом падает обратно в грифон; затем вода выбрасывается все выше и выше и уже перебрасывается через край, выплескивается из грифона на склоны. Изливание воды почти прекращается. Пара уже так много, что он поднимается вверх толстым столбом. Всплескивание переходит в фонтанирование; через короткие интервалы вылетает одна струя за другой. Напряжение за две минуты нарастает до максимума. Фонтан бьет на высоту 12 м настолько стремительно, что следишь за ним, застав дыхание. Наклонное положение канала придает струе наклонное направление. Громада воды падает каскадом блестящих струй вниз, обильно орошая склоны, и бурлящим ручьем стекает в реку Гейзерную.

В струе Малого в начале фонтанирования и в максимум его много воды, но много и пара. Пар с большой стремительностью вылетает вместе с водой, и, по существу, образуется пароводяная струя. Максимум извержения продолжается около минуты и состоит из взлета на максимальную высоту струй, разделенных короткими интервалами. Во время спада извержения в струе начинает преобладать пар, затем бьет с неослабевающей силой и рокотом струя одного пара. Сила взлета пара такова, что ветер (в один из дней нашего пребывания в долине он был очень сильный) внизу не влияет на направление струи и только на высоте порядка 15 м, где она переходит в клубы, склоняет ее в сторону. Постепенно напряжение ослабевает, и из грифона вырываются уже клубы пара, переходящие затем в эмиссию.

Извержение закончилось, канал опорожнен, над гейзером пропадают даже следы пара. Покой длится 12—14 мин. С появлением воды в канале начинается новая предшествующая извержению фаза.

При наблюдениях с правого берега реки Гейзерной напротив гейзера Малого наиболее точно фиксируемым моментом для определения длительности цикла оказалось начало стадии излияния, что выражалось моментом начала переливания воды через наиболее низкий край грифона. Вступление других фаз и стадий растягивалось на некоторое время; не было резкой границы между концом предыдущей и началом последующей стадии. Исчисляя цикл от начала одного излияния до начала нового излияния, мы проследили его 51 раз. Длительность цикла колебалась от 27 до 36 мин., однако наиболее часто (90% всех случаев) — от 28 до 33 мин., т. е. неточность составляла всего 20%; если же принять во внимание все отклонения, то неточность выражалась в 31%.

Следующие данные дают представление о числе случаев с разной продолжительностью цикла.

Длительность цикла, мин.	Число случаев	Длительность цикла, мин.	Число случаев
27	1	32	18
28	5	33	4
29	4	34	1
30	8	35	1
31	6	36	1

Длительность отдельных фаз и стадий тоже не постоянна, однако в определении их можно было допустить ошибки, поскольку они не имеют резких границ начала и окончания.

Ниже приведена длительность последовательно сменяющихся отдельных фаз и стадий гейзера Малого.

Состояние гейзера (фазы и стадии)	Длительность фаз и стадий, мин.
I. Фаза покоя. Грифон свободен от воды . . . . .	12—14
II. Фаза подготовки извержения . . . . .	11—16
1. Стадия наполнения . . . . .	7—8
2. Стадия излияния . . . . .	3—5
3. Стадия кипения . . . . .	1—3
III. Фаза извержения . . . . .	4,5—6,5
1. Стадия подъема . . . . .	2—3
2. Стадия максимума . . . . .	0,5—0,6
3. Стадия спада . . . . .	2—3
IV. Фаза пара . . . . .	3—7
1. Стадия бурного выделения . . . . .	1—2
2. Стадия слабого выделения . . . . .	2—5

Такая строгая последовательность развития извержения наблюдалась 51 раз. Ни одна фаза и стадия не выпали из следующих друг за другом циклов.

**Гейзер Фонтан** (с неполным циклом). Гейзер Фонтан назван Т. И. Устиновой очень удачно: его мощная струя воды во время извержения взлетает вертикально вверх подобно красивейшему искусственному фонтану (фиг. 7). Грифон выходит прямо на поверхность площадки и не имеет гейзерной постройки. Гейзеритом покрыта вся площадка и крутой склон, спускающийся к реке. Грифон имеет вид вертикальной трубы с овальным сечением; большой диаметр равен 0,7 м. На глубине 80—85 см грифон перекрыт камнем и переходит в щель длиной 40 см, шириной 10 см. Глубже видно новое расширение.

Длительность цикла Фонтана колеблется от 20 до 28 мин. Цикл удобнее исчислять с момента начала фонтанирования.

При наблюдениях было прослежено 66 полных циклов.

Длительность цикла, мин.	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Число случаев	2	3	5	3	12	18	12	10	1

Неточность извержений выражается в 34%.

Извержение начинается взлетом воды. Высота взлета уже через 10 сек. достигает максимума. С рокотом взлетают одна за другой струи, сливаясь в единый фонтан. Хотя струи воды окутаны паром, все же они четко выступают. Вода, взлетев на двадцатиметровую высоту, падает ливнем вниз, орошая склоны и стекая бурным водопадом в реку Гейзерную. Максимум длится две минуты, затем высота взлета струй воды уменьшается, и через 3 мин. после начала извержения фонтанирование прекращается. Около 30 сек. над грифоном наблюдается слабая эмиссия пара, затем выделение пара на несколько секунд усиливается, и на высоту 5—6 м взлетает новая струя воды. Дополнительное фонтанирование продолжается всего 10—12 сек., после чего извержение окончательно прекращается.

После прекращения извержения воды в канале не видно.

Через некоторое время вода, всплескиваясь, с рокотом появляется на дне грифона. По мере наполнения грифона водой всплескивание и рокот заглушаются. Вода уже спокойно наполняет грифон. Достигнув краев грифона, вода спокойно переливается, иногда вскипая. За 10—12 сек. до начала извержения изливание и вскипание или просто изливание усиливаются, и струи воды снова взлетают вверх: начинается новое извержение.

Фонтан не имеет полного цикла. С окончанием фонтанирования воды извержение прекращается. Фаза пара как самостоятельная почти отсутствует.

Стадии изливания и кипения непостоянны. В одних случаях изливание длится 2—4 мин., в других — всего десятки секунд, а иногда отсутствует совсем. Точно так же стадия кипения либо бывает недлительная, но интенсивная, либо совсем отсутствует.

Такой непостоянный характер отдельных стадий и полное их выпадение зависит, вероятно, от попадания в грифон падающих обратно охлажденных вод и действия рядом расположенного гейзера Нового Фонтана. Во время почти непрерывного фонтанирования Нового Фонтана охлажденная вода его стекает в грифон Фонтана и нарушает правильный ритм последнего. Этим же можно объяснить затягивание извержения с временным прекращением и новым возобновлением фонтанирования.

#### в) Гейзеры регулярные и нерегулярные

На первый взгляд, все гейзеры долины действуют регулярно и кажется, что большинство из них точно. Однако при более длительном наблюдении нетрудно было заметить, что точности в их поведении нет. С одной стороны, не совпадает длительность циклов, с другой — длительность отдельных фаз даже в циклах одинаковой продолжительности. Отклонения от точности у разных гейзеров неодинаковы (этот вопрос рассматривается отдельно). Большинство гейзеров действует приблизительно точно, и только два — совершенно неточно. Это Новый Фонтан и Непостоянный. Для примера регулярного гейзера приведем гейзер Горизонтальный.

Гейзер Горизонтальный (регулярный). Горизонтальный находится среди мелких гейзеров на левом берегу р. Гейзерной, недалеко от Жемчужного вверх по реке. Прямо от зеркала реки поднимаются глыбы, в верхней части выходят два отверстия, глубже соединяющиеся

в одно. В канале выступает камень, который загораживает ход и придает струе во время извержения почти горизонтальное направление. Поверхность камней покрыта гейзеритом серого цвета, а в части, прикасающейся к камням, — бурого цвета. Крутые склоны покрыты мелкочешуйчатым гейзеритом, горизонтальные площадки — крупночешуйчатым. У подножия Горизонтального образовалась запруда, на дне которой пульсируют горячие источники. Здесь же небольшая грязевая лужа с температурой грязи до 60°.

Гейзер Горизонтальный фонтанирует через 1 час 34 мин.—1 час 42 мин. Почти горизонтальная струя имеет протяженность около 4 м и бьет над рекой Гейзерной, сбрасывая в нее горячую воду. Клубы пара окутывают воду. Фонтанирование длится всего 30—40 сек., после чего некоторое время продолжают выделяться клубы пара. Воды после извержения в канале не видно. Наполнение до краев продолжается около часа. Вода, наполнив грифон, начинает переливаться через край. Переливание воды происходит вначале с некоторыми перерывами. Истечение продолжается 23—29 мин., после чего наступает новое извержение.

Наблюдения над режимом Горизонтального немногочисленны. Приведем некоторые из них.

15 августа фонтанирование происходило:

в 11 час. 01 мин.	в течение 40 сек.
в 12 час. 35 мин.	» 40 »
в 14 час. 13 мин.	» 30 »
в 15 час. 50 мин.	» 30 »

19 августа:

10 час. 35 мин.	— через край грифона начала изливаться вода.
10 час. 47 мин.	— фонтанирование в течение 40 сек.
12 час. 01 сек.	— начала изливаться вода.
12 час. 30 мин.	— фонтанирование в течение 40 сек.
13 час. 41 мин. 30 сек.	— начала изливаться вода.
14 час. 04 мин.	— фонтанирование в течение 40 сек.
15 час. 18 мин.	— начала изливаться вода.
15 час. 46 мин.	— фонтанирование в течение 30 сек.

Из приведенных наблюдений мы видим, что длительность цикла колеблется от 94 до 102 мин., неточность выражается всего в 10%. Вероятно, более длительные наблюдения обнаружили бы и большую неточность, как это мы имеем в других гейзерах.

Гейзер Непостоянный (нерегулярный). Как уже было сказано выше, нет гейзеров, которые бы действовали абсолютно точно. Примером крайней неточности может служить гейзер Непостоянный. Канал его в виде щели выходит на крутом склоне берега, покрытом гейзеритом. Под Непостоянным находится еще несколько подобных щелевых гейзеров и источников. Характер действия гейзера очень непостоянный, за что он и получил такое название. Какой-либо связи с рядом извергающимися гейзерами — Фонтаном и Новым Фонтаном — уловить было нельзя, да ее, вероятно, и нет. В одних случаях с началом извержения Фонтана начинал усиленно пульсационно фонтанировать гейзер Непостоянный, в других случаях извержения Фонтана совершенно не отражались на состоянии Непостоянного. Он продолжал либо бездействовать, либо пульсационно фонтанировать. Были случаи, когда Непостоянный в течение нескольких часов пульсационно фонтанировал с одинаковой

интенсивностью, и за это время успевало произойти несколько извержений Фонтана.

Из многочисленных наблюдений приведем наблюдения 18 августа.

Время наблюдения	Интервал, мин.	Состояние гейзера
С 8 час. 40 мин. до 8 час. 58 мин.	18	Фаза извержения. Пульсационно фонтанировал на высоту 2 м.
С 8 час. 58 мин. до 9 час. 27 мин.	29	Фаза покоя.
С 9 час. 27 мин. до 10 час. 19 мин.	52	Фаза извержения. Через каждые 1,5—2 мин. в течение 5—7 сек. 3—4 всплеска на высоту 2 м.
С 10 час. 19 мин. до 10 час. 45 мин.	26	Фаза покоя.
С 10 час. 45 мин. до 11 час. 56 мин.	71	Фаза извержения. Через каждые 12—14 сек. в продолжение 6 сек. фонтанировал на высоту до 1,5 м.
С 11 час. 56 мин. до 12 час. 30 мин.	34	Сильные взлеты воды на высоту 2 м сменяются более слабыми.
С 12 час. 30 мин. до 12 час. 56 мин.	26	Фаза покоя.
С 12 час. 56 мин. до 14 час.	64	Фаза извержения. Извержение началось взлетом воды на высоту 2 м, через 5 мин. ослабло и продолжалось пульсационным подбрасыванием воды на высоту 1 м.
С 14 час. до 14 час. 27 мин.	27	Фаза покоя.
С 14 час. 27 мин. до 16 час. 08 мин.	101	Фаза извержения. Струи воды взлетают на высоту 1,5 м, разделены секундными паузами.
С 16 час. 08 мин. до 16 час. 32 мин.	24	Фаза покоя.
С 16 час. 32 мин. до 17 час. 54 мин.	82	Фаза извержения. Началась взлетом струй воды на высоту порядка 2,5—3 м. Через 3 мин. установилось прерывистое фонтанирование (8 сек. — пауза, 5 сек. — взлеты воды на высоту 1,5 м).

Из приведенных выше наблюдений в течение небольшого промежутка времени мы видим, что фазы извержения и по характеру, и по продолжительности очень сильно отличаются друг от друга. В другие дни наблюдений соотношения фазы покоя и извержения были иные.

Гейзер Непостоянный не имеет той силы извержения, как другие гейзеры, но поскольку стадия извержения относительно покоя длительна, то по дебиту он не уступает самым мощным гейзерам долины.

Вторым неточным гейзером является Новый Фонтан, находящийся рядом с Непостоянным.

г) Гейзеры с длительной и короткой фазой извержения

Как правило, наши гейзеры имеют длительную фазу покоя и кратковременное извержение. Исключение составляет гейзер Новый Фонтан. У него фаза фонтанирования значительно длительнее фазы покоя.

Гейзер Новый Фонтан (с длительной фазой извержения). Грифон гейзера Новый Фонтан имеет вид неглубокого чашеобразного углубления с выходами каналов на дне и находится рядом с Фонтаном; из двух каналов происходит фонтанирование, а потому струя во время извержения двойная.

Новый Фонтан был замечен нами 14 августа 1951 г., хотя наблюдения велись частично 12 и полностью 13 августа, но с более дальнего расстояния.

14 августа наблюдения начались с 8 час. 46 мин.; в это время извергался только Фонтан. Два часа спустя, в 11 час. 07 мин. начал фонтанировать Новый Фонтан. Характер деятельности Нового Фонтана был нерегулярный. Двойная струя непрерывно была на высоту 6—8 м то в течение 20 мин., то длительнее; фонтанирование прекращалось на 1—3 мин. с моментом начала извержения Фонтана. В максимальную стадию фонтанирования Фонтана Новый Фонтан не действовал совсем, но с началом спада струи Фонтана Новый Фонтан вступал в действие сначала прерывистыми струями большей чем обычно высоты (5—6 взлетов), а когда струя Фонтана спадала до высоты 4—5 м, струя Нового Фонтана той же высоты становилась уже непрерывной до нового извержения Фонтана. Бывали случаи, когда с началом извержения Фонтана Новый Фонтан не прекращал фонтанирования, но бывали и такие случаи, когда, наоборот, прекратив фонтанирование с началом извержения Фонтана, он с ослаблением последнего продолжал оставаться в стадии покоя до нового извержения Фонтана.

Начиная с 14 августа в продолжение 8 дней наблюдений за Новым Фонтаном он оставался таким же неточным в своем поведении, однако общий характер был определенный: чаще всего Новый Фонтан длительно фонтанировал и прекращал фонтанировать с началом извержения Фонтана.

Ниже приводится более подробное описание нескольких дней наблюдений за Новым Фонтаном.

Число	Время наблюдения	Интервал времени, мин.	Состояние гейзера
14/VIII	8 час. 46 мин. до 11 час. 07 мин.	141	Бездействовал. Над грифоном нет пара.
	11 час. 07 мин. до 11 час. 27 мин.	20	Началось фонтанирование. Сначала двойная струя взлетела на высоту 8 м, но через несколько сек. установилась до высоты 5 м и была непрерывно.
	11 час. 27 мин. до 11 час. 29 мин.	2	Не фонтанировал.
	11 час. 29 мин. до 11 час. 47 мин.	18	Начал фонтанировать. В течение 2 мин. взлетело вверх шесть струй, разделенных интервалами. Через 2 мин. установилась непрерывная двойная струя до высоты 5—6 м.



Число	Время наблюдения	Интервал времени, мин.	Состояние гейзера
14/VIII	11 час. 47 мин. до 11 час. 50 мин.	3	Почти бездействовал. Через минутные интервалы выбрасывал в течение 1—2 сек. струю воды.
	11 час. 50 мин. до 12 час. 37 мин.	47	Начал фонтанировать непрерывно.
	12 час. 37 мин. до 12 час. 38 мин.	1	Бездействовал.
	12 час. 38 мин. до 13 час. 01 мин.	23	Фонтанировал.
	13 час. 01 мин. до 13 час. 03 мин.	2	Бездействовал.
	13 час. 03 мин. до 13 час. 26 мин.	23	Фонтанировал.
	13 час. 26 мин. до 13 час. 28 мин.	2	Бездействовал.
	13 час. 28 мин. до 13 час. 48 мин.	20	Фонтанировал.
	13 час. 48 мин. до 13 час. 50 мин.	2	Бездействовал.
	13 час. 50 мин. до 14 час. 14 мин.	24	Фонтанировал.
	14 час. 14 мин. до 14 час. 17 мин.	3	Бездействовал.
	14 час. 17 мин. до 14 час. 39 мин.	22	Фонтанировал.
	14 час. 39 мин. до 14 час. 41 мин.	2	Бездействовал.
	14 час. 41 мин. до 15 час. 04 мин.	23	Фонтанировал.
	15 час. 04 мин. до 15 час. 05 мин. 30 сек.	1,5	Бездействовал.
	15 час. 05 мин. 30 сек. до 15 час. 29 мин.	23,5	Начал фонтанировать с двух всплесков, потом струя стала непрерывной до высоты 5 м.
	15 час. 29 мин. до 15 час. 30 мин.	1	Бездействовал.
	15 час. 30 мин. до 15 час. 51 мин.	21	Фонтанировал.
	15 час. 51 мин. до 16 час. 00 мин.	9	Бездействовал.
	16 час. 00 мин. до 16 час. 17 мин.	17	Начал фонтанировать струей до высоты 8 м, через минуту струя стала высотой 5 м.
	16 час. 17 мин. до 16 час. 28 мин.	11	Бездействовал.
	16 час. 28 мин. до 16 час. 43 мин.	15	Фонтанировал.
	16 час. 43 мин. до 16 час. 45 мин.	2	Бездействовал.

Во все дни наблюдений было разное соотношение стадии покоя и фонтанирования, но во всех случаях извержение было более длительно, чем покой. Приведенные ниже данные иллюстрируют это.

14 августа (с 8 час. 45 мин. до 16 час. 45 мин.).			
Фонтанировал 296 мин., что составляет 61% времени полного цикла;			
был в покое 183 мин., » » 39% » » »			
18 августа (с 8 час. 55 мин. до 17 час. 52 мин.).			
Фонтанировал 457 мин., что составляет 88% » » »			
был в покое 77 мин., » » 12% » » »			
19 августа (с 9 час. 57 мин. до 17 час. 07 мин.).			
Фонтанировал 318 мин., что составляет 75% » » »			
был в покое 104 мин., » » 25% » » »			
20 августа			
Фонтанировал 153 мин., что составляет 92% » » »			
был в покое 15 мин., » » 8% » » »			
21 августа			
Фонтанировал 92 мин., что составляет 78% » » »			
был в покое 22 мин., » » 22% » » »			

Из приведенного описания видим, что Новый Фонтан действует не точно, длительность стадии извержения больше стадии покоя: из 1717 мин. наблюдения гейзер фонтанировал в течение 1316 мин., что составляет 76% от времени полного цикла.

Новый Фонтан образовался только в последние годы; в статьях Т. И. Устиновой он не упоминается.

Чаще гейзеры имеют обратное соотношение — более длительный покой и относительно короткую фазу извержения.

Гейзеры с короткой фазой извержения. Большинство гейзеров имеет малую фазу извержения по отношению ко всему циклу, однако это соотношение различно, поскольку длительность полного цикла колеблется у гейзеров в широких пределах (от 2 мин. до 5 час.), а длительность фонтанирования исчисляется минутами (самое длительное 6 мин.). Длительность фонтанирования по отношению ко всему циклу иллюстрируется ниже.

№ п/п.	Гейзеры	Длительность фонтанирования (в % от полн. цикла)	№ п/п.	Гейзеры	Длительность фонтанирования (в % от полн. цикла)
1	Малый . . . . .	14	5	Верхний целевой	4
2	Фонтан . . . . .	10	6	Жемчужный . . .	1,3
3	Большой . . . . .	6	7	Великан . . . . .	1
4	Центральный целевой . . . . .	6	8	Горизонтальный .	1
			9	Нижний целевой	1

Из приведенных данных видно, что длительность фонтанирования составляет, как правило, меньше 10% от времени полного цикла.

#### д) Гейзеры с медленно и быстро развивающимся напряжением

По характеру фазы извержения намечается два типа гейзеров: с одной стороны, гейзеры с постепенно возрастающим напряжением, доходящим до максимума и таким же постепенным спадом, с другой стороны, гейзеры с извержением, сразу достигающим максимума. К первым можно отнести гейзер Большой, ко вторым — Жемчужный.

Гейзер Большой (с медленно развивающимся напряжением). Гейзер Большой находится на левом крутом берегу р. Гейзерной, на 17 м выше зеркала реки. Грифон имеет размер 1,5×3 м и глубину около 2,5 м. Склон от гейзера к реке покрыт гейзеритом.

В канале Большого после извержения видна вода, которая очень медленно в течение часа толчками наполняет грифон. Достигнув краев грифона, вода начинает переливаться через край и стекать по крутому склону в реку Гейзерную. Пары очень мало. Через несколько минут после начала излияния начинается периодическое вскипание в южной части грифона, постепенно переходящее в подбрасывание воды выше краев его. С началом вскипания увеличивается количество пара. Вода при все укорачивающихся интервалах подбрасывается все выше и выше и уже выплескивается из грифона. Это начинается извержение. Оно развивается очень медленно. В максимум его фонтаны воды взлетают на высоту 12—14 м, окруженные клубами пара, который образует столб высотой до 30 м. Громада воды падает вниз и бурным ручьем стекает в реку Гейзерную. Фонтанирование складывается из отдельных взлетов струй, разделенных короткими паузами; максимум растягивается на 2 мин., и вот уже струи взлетают постепенно все на меньшую и меньшую высоту.

По мере спада фонтанирования интервалы между взлетами струй увеличиваются, и конец извержения растягивается иногда на 10 мин. Всплески разделены паузами сначала в 2—3 сек., затем в несколько мин. Пар во время спада фонтанирования продолжает вырываться с рокотом, образуя мощный столб. Вода изредка подбрасывается выше краев. Постепенно клубление переходит в эмиссию: извержение закончилось. Некоторое время гейзер остается спокойным, после чего цикл начинается сначала.

Началом цикла для гейзера Большого, так же как и для Малого, удобнее считать момент наступления стадии излияния, когда вода, наполнив грифон, начинает переливаться через край. Остальные фазы и стадии не имеют резких границ, и их начало растягивается на некоторое время. В разные пять дней было прослежено 17 полных циклов Большого. Длительность цикла колебалась от 1 час. 28 мин. до 1 час. 45 мин. Ниже приводится длительность отдельных фаз и стадий.

Длительность полного цикла . . . . .	90—121 мин.
» фазы извержения . . . . .	6—14 мин.
» стадии подъема . . . . .	2—7 мин.
» стадии максимума . . . . .	около 1 мин.
» стадии спада . . . . .	3—6 мин.
» фазы пара . . . . .	13—25 мин.
» фазы покоя . . . . .	10—12 мин.
» фазы подготовки . . . . .	61—70 мин.
» стадии наполнения . . . . .	56—60 мин.
» стадии излияния . . . . .	3—4 мин.
» стадии кипения . . . . .	2—6 мин.

Стадия излияния фактически более длительна, чем указана выше, поскольку в стадию кипения и в момент начала фонтанирования излияние продолжается и таким образом растягивается на 20—22 мин. Длительность фазы покоя приводится условно. После извержения вода из канала долгое время всплескивает, и продолжает выделяться пар.

Гейзер Жемчужный (с быстро развиваемся и напряжением). Гейзер Жемчужный получил свое название за форму гейзеритов на поверхности его, напоминающих скопления рассыпанного жемчуга. Грифон расположен среди камней, поверхность которых покрыта гейзеритом. Грифон небольшого диаметра и виден на глубине 1 м. После извержения воды в нем не видно, и только на глубине слышен рокот; через час на дне грифона появляется вскипающая вода, кипение по мере наполнения прекращается; пара в жаркую погоду совсем не видно. В течение получаса вода медленно прибывает и, достигнув краев грифона, начинает спокойно переливаться небольшим ручьем. Следующие полчаса длится истечение, пара все еще нет. Фонтанирование начинается как-то вдруг и сразу достигает максимума. С началом фонтанирования выделяется много пара. С большим напряжением в течение 4 мин. непрерывно бьет мощная струя воды несколько наклонно к северо-востоку под углом 80°, достигая высоты порядка 12 м, окутанная паром. Столб пара поднимается на высоту около 50 м. Струя воды сменяется струей пара, которая еще около минуты с ревом бьет с такой же стремительностью. Постепенно стремительность струи пара ослабевает. Пар начинает выделяться в виде клубов, а затем выделение его совсем прекращается. Цикл начинается снова. Длительность цикла колебалась от 5 час. 01 мин. до 3 час. 48 мин. Ниже для сравнения приводится описание двух циклов Жемчужного, наблюдаемых 18 августа.

Время наблюдения	Состояние гейзера
С 9 час. 25 мин. до 9 час. 28 мин.	— фонтанирование.
В 9 час. 28 мин.	— струя пара.
До 9 час. 29 мин.	— клубы пара.
До 10 час. 44 мин.	— в грифоне нет воды.
В 10 час. 44 мин.	— на дне появилась кипящая вода.
До 11 час. 05 мин.	— наполнялся с глубины 1 м до 25 см от поверхности.
В 11 час. 05 мин.	— наполнился до краев.
С 11 час. 18 мин.	— вода начала переливаться через край.
В 13 час. 11 мин. 20 сек.	— началось фонтанирование.
В 13 час. 15 мин.	— фонтанирование закончилось.
До 13 час. 15 мин. 32 сек.	— струя пара.
До 13 час. 17 мин.	— клубы пара.
До 15 час. 49 мин.	— грифон пустой.
В 15 час. 49 мин.	— на дне появилась вода.
В 16 час. 19 мин.	— вода начала переливаться через край.
В 17 час. 20 мин. 30 сек.	— началось фонтанирование.
В 17 час. 24 мин. 20 сек.	— закончилось фонтанирование.
До 17 час. 25 мин.	— струя пара.
До 17 час. 27 мин.	— клубы пара.

#### е) Гейзеры с большой и малой фазой пара

По соотношению фаз и пара во время извержения гейзеры можно разделить на две группы: с большой фазой пара и с малой. К первой относятся гейзеры: Великан, Большой, Малый. Приведем описание Великана.

Гейзер Великан (с большой фазой пара). Великан — самый мощный и красивый гейзер на Камчатке. Извергается он через промежуток времени около трех часов. Извержение длится всего полторы минуты, однако оно таково, что по мощности извержения Великан занимает первое место среди других гейзеров Камчатки. Великан находится на левом берегу реки Гейзерной, на горизонтальной площадке размером  $30 \times 40$  м, ступенями спускающейся к реке. Вся площадка активна; Великан окружен кипящими, ритмически вскипающими источниками, миниатюрными гейзерами с малым циклом извержения, парящими площадками, на поверхности которых в сухую погоду образуются значительные количества растворимых сульфатов. Поверхность площадки покрыта гейзеритом. Великан не имеет постройки, и грифон выходит прямо на горизонтальную площадку. Он имеет овальную форму; размер его  $1,5 \times 3$  м, глубина — около 3 м. На дне в восточной части выходит канал, из которого поступает вода. Извержение начинается взлетом воды немного наклонно к западу, на высоту порядка 15—20 м; вскоре высота взлета воды возрастает и через несколько секунд достигает уже 40 м. Мощный столб пара окутывает фонтан воды, скрывает его и поднимается до высоты 100 м [фиг. 9, 10 (1, 2, 3)].

Извержение сопровождается рокотом. Громада воды падает вниз, орошает террасу и течет бурным ручьем в р. Гейзерную. В продолжение полутора минут фонтанирует чрезвычайно красивый естественный фонтан. Фонтанирование сменяется продолжительным выделением клубов

пара, образующих над Великаном гигантский белый столб. Иногда больше получаса продолжается весьма интенсивное выделение пара, которое постепенно ослабевает.



Фиг. 9. Гейзер Великан.

После извержения длительное бурное выделение пара закрывает грифон и не всегда видно, есть ли в канале вода. В одном случае появление воды на дне грифона было обнаружено только через 25 мин. после прекращения фонтанирования; в другом случае уже через 5 мин. после окончания фонтанирования сквозь выделяющийся пар на дне грифона видна толчками поступающая из канала вскипающая вода. Через 22—40 мин. после окончания извержения поверхность воды на дне грифона уже спокойна. Уровень воды постепенно повышается, происходит наполнение грифона (фиг. 11). Длительность и интенсивность наполнения грифона в разных циклах почти одинаковая (около полутора часов).

Однажды наблюдали, как уровень несколько раз то повышался, то понижался. В одном из наблюдаемых циклов 18 августа наполнение грифона происходило следующим образом.

С глубины от 3	до 2,5 м, т. е. 0,5 м,	наполнение происходило за 11 мин.	} 41 мин.
» »	от 2,5 до 2,0 м » 0,5 м	» » » 10 »	
» »	от 2,0 до 1,5 м » 0,5 м	» » » 10 »	
» »	от 1,5 до 1,0 м » 0,5 м	» » » 10 »	
» »	от 1,0 до 0,2 м » 0,8 м	» » » 36 »	} 63 мин.
» »	от 0,2 м до края » 0,2 м	» » » 27 »	

Во время следующего цикла того же дня первые 2 м в грифоне наполнялись в течение 44 мин., последний метр — 50 мин. В обоих случаях вода в начале процесса наполнения прибывала быстрее, в конце — медленнее, что отчасти объясняется несколько расширяющимся к поверхности диаметром грифона.

После наполнения грифона вода начинает изливаться. Так же, как и в период наполнения, во время излияния иногда уровень воды в грифоне понижался, и излияние на некоторое время прекращалось, а потом снова возобновлялось. Интенсивность истечения была небольшой и увеличивалась только по мере приближения извержения. Так, 18 августа в 9 час. 28 мин. вода достигла краев грифона и небольшим ручьем потекла по уклону террасы с дебитом 1—1,5 л/сек; через полчаса дебит несколько увеличился и стал равным 1,5—2 л/сек.

Вскипание в одних случаях начинается вскоре после начала излияния, в других — через полчаса и вначале происходит с интервалами в 2—3 сек.



1



2



3

Фиг. 10 (1, 2, 3). Разные стадии извержения Великана.

В моменты вскипания вода изливается волнами. Стадия кипения длительна, иногда растягивается на 20 мин. Кипение по мере приближения извержения усиливается. С началом кипения начинает выделяться пар, количество которого увеличивается по мере усиления кипения. Перед самым извержением кипение становится бурным, вода всплескивается, и вдруг с большим количеством пара взлетает мощный фонтан воды, диаметр которого соответствует размерам грифона. Верхняя граница воды не видна, она окутана густым белым паром, кудреватый столб которого уходит на сотню метров вверх. Мощным ливнем падает вода вниз и бурной рекой шириной 5 м, глубиной 5 см в течение 3—4 мин. несется по слабо пологому руслу (уклон  $15^\circ$ ), стекая водопадами в реку Гейзерную.



Фиг. 11. Гейзер Великан. Грифон наполнен водой.

Длительность цикла Великана непостоянна. В период наших наблюдений она колебалась от 3 час. 48 мин. до 2 час. 16 мин. В зависимости от длительности цикла была различной и длительность отдельных фаз и стадий.

Великан описывался здесь как гейзер с большой фазой пара. Пар начинает выделяться тогда, когда после извержения вода бурно с всплесками поступает в канал.

По мере наполнения грифона водой всплескивание прекращается и почти прекращается выделение пара. Выделение пара возобновляется, когда вода, наполнив грифон и изливаясь через край, начинает периодически вскипать. По мере усиления вскипания усиливается и выделение пара, которое достигает максимума во время извержения. Пар образует мощный столб, скрывая струю воды. Вода фонтанирует всего лишь 1—1,5 мин., клубы же пара сначала с рокотом, потом тихо продолжают еще долго вырываться из грифона. Трудно подсчитать соотношение пара и воды, но ясно, что фаза пара очень мощная и длительная.

Т. И. Устинова (1946) упоминает о гейзере, расположенном на левом берегу реки Гейзерной, выше гейзера Сахарного, на высоте 35 м от зеркала реки, который, по ее мнению, извергает только пар. Более подробных данных о режиме этого гейзера нет.

Гейзер Многоструйный (с малой фазой пара). В отличие от гейзеров с большой и длительной фазой пара есть гейзеры с относительно короткой фазой пара. Выделение пара у таких гейзеров сопровождается только фонтанированием и прекращается с окончанием его. В частности, гейзер Многоструйный имеет совсем малую фазу пара. Правда, у него также небольшая и фаза воды. В карманообразной впадине пологой кулолообразной постройки, покрытой гейзеритом, находится щель с несколькими отверстиями, через которые во время извержения происходит многоструйное фонтанирование.

Извержение начинается с того, что из нескольких отверстий выделяются тонкие струйки пара в течение 10 сек., после чего начинают бить фонтанчики воды, все усиливаясь и усиливаясь и достигая 1,5—2 м высоты. Гейзер имеет цикл в 30—40 мин., фаза извержения продолжается около 1 мин. С прекращением фонтанирования быстро прекращается и выделение пара.

*жс) Гейзеры с грифоном, выходящим в яму*

Гейзеры-ямы находятся на террасе на высоте 40 м от зеркала реки. Ниже на крутом склоне располагаются гейзеры Фонтан, Непостоянный, Новый Фонтан, еще ниже — Великан и Жемчужный. Крутые склоны, поднимающиеся от террасы вверх, покрыты многочисленными струями пара.

На террасе широко распространены грязевые котлы, трубы с кипящей водой, различные термальные источники и горячие озера.

Гейзер-яма № 1. Диаметр ямы около 5 м, глубина — около 4 м (фиг. 12). В стенках ямы ближе ко дну выходят два грифона. В грифонах непрерывно кипит вода, и выделяется пар; периодически происходит выплескивание воды на высоту около метра. Ниже приводятся данные кратковременных наблюдений 17 августа.

Время наблюдения	Промежуток времени, в течение которого вода выплескивалась из 2-х грифонов на высоту около 1 м, сек.
12 час. 54 мин. . . . .	30
12 час. 56 мин. 30 сек. . . . .	25
12 час. 58 мин. 40 сек. . . . .	20
13 час. 00 мин. 30 сек. . . . .	20
13 час. 02 мин. . . . .	21
13 час. 04 мин. 30 сек. . . . .	30
13 час. 09 мин. . . . .	20

Цикл гейзера-ямы № 1 — 1,5—4,5 мин., выплескивание же продолжается 20—30 сек.

Гейзер-яма № 2 имеет глубину около 4 м; в стенках ямы несколько грифонов (фиг. 13).

Из одного грифона происходит периодическое выплескивание воды, разделенное короткими паузами, из других слышится только рокот.

Гейзер-ванна. Водоем имеет форму ванны длиной 5 м, шириной 2 м и глубиной 0,6—0,7 м. В крутой стенке ванны выходят три канала (фиг. 14). В ванне все время находится вода; уровень воды периодически повышается, и вода, достигнув пониженного края ванны, начинает переливаться. Момент наполнения связан с пульсационным выливанием воды из одного из 3-х отверстий. Во втором отверстии непрерывно слышны всплески, происходящие 2—3 раза в сек. Из него выделяется только пар.



Из третьего отверстия периодически с интервалом в 1,5—2 мин. выплескивается вода. Цикл имеет такой характер. Вода держится на уровне



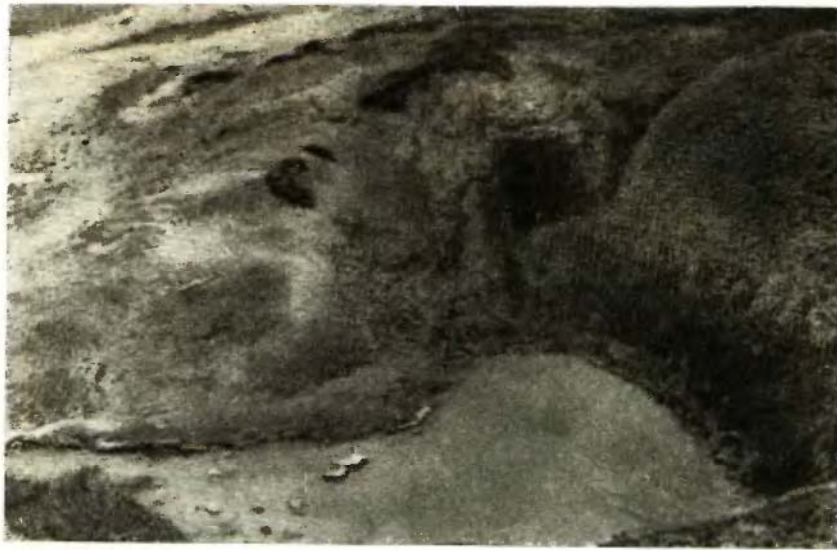
Фиг. 12. Гейзер-яма № 1.

10 см ниже края ванны. За 1—2 мин. уровень воды пульсационно поднимается за счет пульсационного поступления воды из одного из каналов. Вода переливается через край, затем следует выброс воды из другого канала. Длительность цикла 1 мин. 10 сек. — 1 мин. 50 сек. Выплески-



Фиг. 13. Гейзер-яма № 2.

вание воды происходило 17 августа в 13 час. 47 мин., 13 час. 48 мин., 13 час. 50 мин., 13 час. 51 мин. 30 сек., 13 час. 53 мин. 20 сек., 13 час. 54 мин. 50 сек., 13 час. 56 мин., 13 час. 57 мин. 30 сек.



Фиг. 14. Выход канала в стенке гейзера-ванны.

з) *Гейзер-чаша с каналом на дне*

Гейзер-чаша с каналом на дне находится на той же террасе, что и гейзеры-ямы (фиг. 15, 16). Чаша диаметром 5 м, круглой формы, с крутыми конусообразно уходящими стенками, заканчивающимися на дне вертикальным каналом, уходящим вглубь. Стенки чаши покрыты кремо-



Фиг. 15. Гейзер-чаша. Истечение воды из озера.

вым мучнистым осадком. От края ее отходит русло, по которому непрерывно течет вода. Дно ручейка тоже покрыто каменной мукой. 17 августа в течение 2 часов наблюдений за ручейком вода продолжала непрерывно истекать. Вода в чаше была идеально прозрачна, голубоватого цвета, с температурой 84°. Изредка из канала поднимались пузыри газа, но вода не мутилась, и поверхность чаши оставалась гладкой. 20 августа при

очередном нашем маршруте в 10 час. утра вода в чаше попрежнему была прозрачна и непрерывно изливалась через край. При вторичном посещении этого места в чаше было замечено новое состояние воды. Вода



Фиг. 16. Парящие площадки вокруг гейзера-чаши.

была грязно-серого цвета, совершенно непрозрачная, по руслу в утреннем количестве изливалась вода, со дна поднимались пузыри, вода как бы кипела. Температура воды была  $97^{\circ}$ . В 12 час. 27 мин. наблюдался всплеск воды на высоту полуметра. По причинам, не зависящим от автора, на этом наблюдение прекратилось и осталось невыясненным, как развивалось дальнейшее извержение.

#### *и) Другие термальные проявления*

**Грязевые котлы.** Грязевые котлы по форме очень похожи друг на друга и представляют собой яму с конусообразно сходящимися стенками (фиг. 17, 18). В зависимости от состояния котла густая грязь на дне его либо кипит, либо периодически подбрасывается, либо находится в спокойном состоянии. Стенки грязевого котла потрескались, давая характерные формы усыхания.

Грязевой котел с периодически подбрасываемой грязью — наибольший котел на этой террасе. Диаметр его до 5 м, глубина — 2,5 м. Стенки сухие, светлосерого цвета, потрескавшиеся. На глубине 1,5 м грязь мокрая, черного цвета, жирная, густая. Температура грязи  $91^{\circ}$ . Грязь кипит неравномерно, кипение периодически усиливается, и грязь начинает подбрасываться на высоту десятков сантиметров.

Грязевой котел с кипящей надне грязью находится рядом с вышеописанным. У него более крутые стенки и меньший диаметр; глубина 1,5 м. Края котла сухие, грязь потрескалась. На дне грязь горячая ( $87^{\circ}$ ), густая, черного цвета. Вдувающиеся и лопающиеся пузыри создают впечатление кипения.

Грязевой котел с спокойной грязью расположен здесь же. Он еще меньших размеров, чем предыдущий, с крутыми стен-

ками. На дне котла находится горячая грязь со спокойной поверхностью. Температура грязи 78°.



Фиг. 17. Грязевой котел с вскипающей грязью.

Остывающий грязевой котел отличается тем, что стенки его сухие до самого дна. На дне нет жидкой грязи, но температура ее еще достаточно высока и достигает 52°.



Фиг. 18. Грязевой котел со спокойной грязью.

Горячие озера. Горячие озера (фиг. 19) расположены среди гейзеров-ям, грязевых котлов и термальных источников. По температуре воды озера делятся на горячие, почти кипящие и теплые, а по форме — с непрерывно и периодически поступающей и истекающей водой и с постоянным уровнем без стока.

Горячие озера в долине Гейзерной представляют собой не менее красивое явление, чем гейзеры. Рядом с бесцветными идеально прозрачными озерами находятся голубые, красные, цвет которых зависит от цвета глины, покрывающей дно и борта озер. На фоне зеленой растительности цветные озера выглядят особенно эффектно. Температура воды в них колеблется в широких пределах — от 90° до 40°. Иногда озера являются истоками горячих ключей. Не останавливаясь на них подробно, приведем только короткое описание трех миниатюрных ступенеобразно расположенных озерков. Они находятся около гейзеров-ям. Выше всех расположено голубое озерко, цвет которому придает голубая глина на стенках



Фиг. 19. Горячее озеро.

и дне его. Метром ниже расположены два красных озерка; дно и берега их сложены красной глиной. Первые полминуты вода в голубом озерке постепенно прибывает, наполняется до краев и начинает по узкому руслу переливаться во второе красное озерко. После наполнения первого красного озерка избыток воды переливается во второе красное озерко. Через полторы минуты после наполнения первого красного озерка изливание из голубого прекращается, и вода в нем в продолжение полминуты убывает. Еще не уйдя, она снова начинает прибывать, и цикл повторяется снова. Полный цикл длится всего 2,5—3 мин. Температура воды в голубом озерке 89°, в первом красном — 78°, во втором красном — 62°. Было замечено, что вода в голубом озерке прибывает, и поверхность ее приходит в движение с началом выплескивания воды из рядом находящегося гейзера-ямы.

#### 4. К вопросу о ритмичности гейзеров

Большинство гейзеров земного шара действует нерегулярно, и только деятельность немногих относительно точна.

В Исландии большая часть гейзеров действует нерегулярно, и только самые мелкие — более или менее правильно. В продолжение длительных наблюдений Большой Гейзер менял ритм своей деятельности. В XVII в. он извергался один раз в сутки, в XVIII в. — через 6—8 часов (в 1772 г. — нерегулярно), в 1804 г. — каждые 6 часов, в 1809—1810 гг. — через 30 часов, в 1816 г. — через 6 часов, в 1833 г. — через 24—30 часов, в 1860 г. —

через 80—100 часов, в 1865 г. — нерегулярно, в 1872 г. — через 6 часов, в 1883—1895 гг. — через 3 недели, в 1896—1897 гг. — через 1—12 часов, в 1915—1935 гг. совершенно не действовал.

В Новой Зеландии самый крупный гейзер Вайманг действовал также очень нерегулярно. Период его извержения составлял от 5 до 30 часов. Прекращение гейзерной деятельности Вайманга было связано с понижением на 11 м уровня воды в озере Таравера, находящемся в 5 км к северо-востоку от него.

Деятельность гейзеров Прост Нест на Ваикато тоже очень нерегулярная и зависела от уровня воды в озере. При высоком уровне воды в нем один из гейзеров извергался каждые 40 минут, при низкой воде — каждые 2 часа (Wolff, 1914).

Асами в Японии — наиболее яркий пример нерегулярного гейзера. Ритмическая деятельность его нарушалась нерегулярными извержениями, происходящими через 1—6 месяцев.

Прежде считали, что в Йеллоустонском национальном парке гейзеры действуют регулярно. Аллен и Дей в результате длительных наблюдений показали, что гейзеры и в Йеллоустоне действуют тоже нерегулярно. Даже Старый Служака, всегда считавшийся регулярным и показывавшийся туристам, на самом деле уж не столь регулярен. Систематические наблюдения в продолжение 2,5 месяцев показали, что продолжительность покоя между двумя извержениями у него колеблется от 38 до 81 мин.

На первый взгляд казавшаяся полная регулярность камчатских гейзеров даже при десятидневных непрерывных наблюдениях не подтвердилась. Два гейзера — Новый Фонтан и Непостоянный действовали нерегулярно, остальные более или менее регулярно. Неточность по отношению к средней деятельности цикла составляла 10—40%. Здесь надо иметь в виду, что наблюдения за каждым отдельным гейзером велись меньше десяти дней, причем были очень близкие атмосферные условия; все дни стояла сухая солнечная погода, барометрическое давление было устойчивое, атмосферные осадки в районе не выпадали, уровень в реке был постоянен. Режим гейзеров, вероятно, зависит и от атмосферных осадков, особенно ливней, и от времени года, и от атмосферного давления. Такие данные можно было бы получить при более длительных наблюдениях.

Ниже приводятся данные наблюдений за длительностью циклов некоторых гейзеров.

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	до		
								минуты			
Жемчужный	15/VIII	9	50	30							
		14	51		5	00	30				
	17/VIII	6	31								
		18/VIII	9	25		3	50				
	18/VIII	13	15		4	05	30				
		17	20	30							
		19/VIII	9	13	30						
	19/VIII	13	02		3	48	30	228	300	72	24
		17	04		4	02					
		20/VIII	16	12		4	46				
			20	58							

Продолжение

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	до		
								минуты			
Великан	14/VIII	6	54								
		10	11		3	17					
		13	29	30	3	18	30				
		16	43		3	13	30				
	15/VIII	9	03								
		12	22		3	19					
		15	44		3	22					
	18/VIII	10	35								
		13	54		3	19		136	228	92	43
		16	10		2	16					
		18	43		2	33					
	19/VIII	8	20								
		11	24		3	04					
		14	27		3	13					
	20/VIII	7	25								
		10	20		2	55					
		14	08		3	48					
		17	33		3	25					
20		55		3	22						
21/VIII	7	31									
	10	51		3	20						
Большой	13/VIII	11	51		1						
		13	26		1	35					
		15	01		1	45					
		16	36		1	25	30				
		18	08	30		32					
	19/VIII	8	47		1						
		10	15		1	28					
		11	40		1	35		88	108	20	20
		13	28		1	48					
		15	04		1	36					
		16	45			41					
	20/VIII	15	08								
		16	44		1	36					
		18	26		1	42					
		19	59		1	33					
	21/VIII	7	15		1						
		8	54		1	39					
		10	25		1	31					
Горизонтальный	15/VIII	11	01								
		12	35		1	34					
		14	13		1	38					
		15	50		1	37		94	102	8	8
	19/VIII	10	47	30							
Многоструйный	18/VIII	12	30		1	42	30				
		14	04		1	34					
		15	46		1	42					
		10	37								
		11	10			33					
	11	44			34						





Продолжение

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла		
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	до				
								минуты					
Фонтан	13/VIII	12	45										
		13	10			25							
		13	34			24							
		13	59			25							
		14	24			25							
	14/VIII	8	46										
		9	12			26							
		9	32			20							
		9	54			22							
		10	16			22							
		10	40			24							
		11	04			24							
		11	27			23							
		11	47			20							
		12	09			22							
		перерыв в наблюдениях											
				14	14								
	14			39			25						
	15			04			25						
	15			29	30		25	30					
	15			51			21	30					
	15/VIII	6	07										
		6	31			24							
	18/VIII	8	58										
		9	25			27							
		9	48			23							
		10	14			26							
		10	38			24							
		11	03			25							
		11	27			24							
		11	51			24							
		12	18			27							
		12	44			26							
		13	10			26							
		13	35			25							
		14	00			25							
		14	25			25							
		14	51			26							
	19/VIII	9	08										
		9	32			24	30						
		9	55	30		22	30						
		10	21			26							
10		46			25								
11		13			27								
11		35			24								
12		00			25								

Продолжение

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла		
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	по				
								минуты					
Фонтан	19/VIII				пропуск в наблюдениях								
		12	50										
		13	17					27					
		13	42					25					
		14	08					26					
		14	31					23					
		14	56					25					
		15	23					27					
		15	48					25					
		16	14					26					
	16	38					24						
	17	05					27						
	20/VIII	15	19										
		15	43					24					
		пропуск в наблюдениях											
		16	30					26					
		16	55					25					
		17	22					27					
		17	50					28					
		18	16					26					
18		43					27						
19		07					24						
Малый	13/VIII	11	11					28	27	36	9	29	
		11	39					31					
		12	10					29					
		12	39	30				30					
		13	10					30					
		13	39					29					
		14	09					30					
		14	41					32					
		15	13					32					
		15	43					30					
	14/VIII	16	10					27					
		17	14					34					
		17	45	30				31		30			
		18	15					29					
		18	47					32					
		15/VIII	6	15									
			6	54					39				
			7	22					28				
		16/VIII	7	53	30				31		30		
			6	54									
	7		26					32					
	19/VIII	7	57					31					
		8	59										
		9	31					32					
		10	03					32					
		10	33					30					
		11	05					32					
		11	33					28					
		12	05					32					
		12	37					32					
13		09					32						

Продолжение

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла	
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	до			
								минуты				
Малый	19/VIII	13	40				31					
		14	10				30					
		14	43				33					
		15	15				32					
		15	45				30					
		16	17				32					
	16	44				27						
	20/VIII	16	18					32				
		16	50					32				
		17	22	30				32	30			
		17	54					31	30			
		18	26					32				
		19	02					36				
		19	32					30				
	20	04					32					
	20	37					33					
	21/VIII	7	18									
		7	53					35				
8		26					33					
8		58					32					
9		30					32					
10		04					34					
10		35	30				31	30				
11	08					32	30					
Непостоянный	18/VIII	8	40									
		9	27		0		47					
		10	46		1		19					
		12	56		2		10					
		14	27		1		31					
		16	32		2		05		47	130	83	94
Новый Фонтан	14/VIII	11	07									
		11	29				22					
		11	50				21					
		12	38				48					
		13	01				23					
		13	28				27					
		13	50				22					
		14	17				27					
		14	41				24					
		15	05	30			24	30				
		15	30				24	30				
	16	00				30						
	16	28				28						
	18/VIII	9	01									
		9	27				26					
		9	50				23					
		10	16				26					
		10	40				24					
11		05				25						
11		29				24						
11	54				25							
12	20				26							

Продолжение

Наименование гейзера	Дата извержения (1951 г.)	Время начала извержения			Длительность полного цикла			Пределы длительности цикла		Отклонение, мин.	Неточность в % к средней длительности цикла	
		час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.	от	от			
								минуты				
Новый Фонтан	18/VIII	12	46			26						
		13	17			31						
		13	37			20						
		14	14			37						
		14	27			13						
		14	53			26						
		15	17			24						
		15	44			27						
		16	10			36						
		16	44			34						
		16	58			14						
		17	36			38						
		17	52			16						
		19/VIII	9	57								
			10	35			38					
			10	48			13					
			11	15			27					
	11		38			23						
	12		20			42						
	12		55			35						
	13		44			49						
	14		10			36						
	14		42			32						
	14		59			17						
	15		25			26						
	16		04			39						
	16		15			11						
	16		40			25			11	49	38	127

Из приведенной таблицы мы видим, что неточность для двух гейзеров — Нового Фонтана и Непостоянного — выражается в 127 и 94%, а для остальных гейзеров — в 10—40%.

Внутри циклов одного и того же гейзера отдельные фазы и стадии имеют разную продолжительность. Приведем из наших наблюдений два примера.

Гейзер Жемчужный. 18 августа

Состояние гейзера	I цикл: от 9 час. 25 мин. до 13 час. 15 мин.	II цикл: от 13 час. 15 мин. до 17 час. 20 мин. 30 сек.
	1. Фонтанировал . . . . .	3 мин.
2. Наполнялся водой до глубины 1 м от поверхности (включая фазу покоя) . .	76 мин.	142 мин.
3. Наполнялся последний метр . . . . .	34 мин.	40 мин.
4. Истечение . . . . .	117 мин.	60 мин.
Длительность полного цикла	3 час. 50 мин.	4 час. 05 мин. 30 сек.

Первый цикл характеризуется более кратковременным покоем и наполнением до глубины 1 м, но более длительным истечением, второй цикл — более коротким истечением и более длительным наполнением.

Фонтанирование и наполнение последнего метра канала длилось одинаковое время.

Неточность фаз и стадий внутри цикла можно наблюдать и у гейзера Великана.

#### Гейзер Великан. 18 августа

Состояние гейзера	I цикл:		II цикл:	
	от 10 час. 35 мин. до 13 час. 54 мин.	от 16 час. 10 мин. до 18 час. 42 мин.		
1. Фонтанировал . . . . .	1,5 мин.		1 мин.	
2. Фаза покоя . . . . .	36 мин.		5 мин.	
3. Наполнение водой до глубины 1 м от поверх- ности . . . . .	30 мин.		44 мин.	
4. Наполнение последнего метра . . . . .	63 мин.		59 мин.	
5. Истечение . . . . .	69 мин.		57 мин.	
Длительность полного цикла . . . . .	3 час. 19 мин.		2 час. 37 мин.	

У Великана в двух циклах особенно ярко выражена разная длительность фазы покоя.

Мы располагаем также некоторыми данными об изменении режима двух гейзеров со временем. По данным П. И. Устиновой, у гейзера Первенца в 1941 г. полный цикл в среднем длился 45 мин., в 1945 г. — 63 мин.

У гейзера Фонтана продолжительность цикла в 1941 г. была 15,5 мин., в 1945 — 20 мин., а в 1951 г., по нашим наблюдениям, она увеличилась до 28 мин. Продолжительность же извержения уменьшалась.

Из приведенных немногочисленных наблюдений мы видим, что режим гейзеров непостоянен.

Однако по сравнению с известными гейзерами мира камчатские гейзеры обладают в настоящее время наиболее правильным ритмом.

### 5. О взаимодействии гейзеров

Большинство гейзеров кажется действующими независимо друг от друга.

Два близко расположенных друг от друга гейзера — Большой и Малый — действовали каждый в своем ритме, и какой-либо зависимости в их поведении не было уловлено.

Однажды понижение уровня воды в грифоне Великана в стадию наполнения совпало с началом фонтанирования близко расположенного гейзера Фонтана. Насколько это случайно, осталось неясным.

Совершенно очевидной была прямая зависимость в поведении двух рядом расположенных гейзеров — Нового Фонтана и Фонтана. Непрерывное фонтанирование Нового Фонтана моментально прекращалось с началом извержения Фонтана. Когда извержение последнего начинало спадать, Новый Фонтан вступал в действие сначала прерывистой струей, а потом непрерывной, когда извержение Фонтана почти прекращалось. Правда, иногда с началом извержения Фонтана Новый Фонтан не прекращал фонтанирования или, наоборот, со спадом извержения Фонтана Новый Фонтан оставался спокойным, но это было редко.

Ниже приводятся данные из наблюдений 14 и 18 августа.

14 августа с раннего утра в течение некоторого времени Новый Фонтан бездействовал, в то время как Фонтан регулярно извергался. В 11 час. 07 мин. Новый Фонтан начал фонтанировать, и характер его действия оставался более или менее определенным, связанным с состоянием Фонтана. Данные из наблюдений 18 августа приведены в той части, где эта зависимость была явной.

Время наблюдения	Длительность действия и покоя	Состояние гейзера	
		Фонтан	Новый Фонтан
14 августа 1951 г.	8 час. 46 мин. — 8 час. 50 мин.	Фонтанировал.	Бездействовал
	8 час. 50 мин. — 9 час. 12 мин.	Бездействовал.	»
	9 час. 12 мин. — 9 час. 15 мин.	Фонтанировал.	»
	9 час. 15 мин. — 9 час. 32 мин.	Бездействовал.	»
	9 час. 32 мин. — 9 час. 36 мин.	Фонтанировал.	»
	9 час. 36 мин. — 9 час. 54 мин.	Бездействовал.	»
	9 час. 54 мин. — 9 час. 58 мин.	Фонтанировал.	»
	9 час. 58 мин. — 10 час. 16 мин.	Бездействовал.	»
	10 час. 16 мин. — 10 час. 20 мин.	Фонтанировал.	»
	10 час. 20 мин. — 10 час. 40 мин.	Бездействовал.	»
	10 час. 40 мин. — 10 час. 44 мин.	Фонтанировал.	»
	10 час. 44 мин. — 11 час. 07 мин.	Бездействовал.	»
	11 час. 07 мин. — 11 час. 07 мин.	Фонтанировал.	»
	11 час. 07 мин. — 11 час. 27 мин.	Бездействовал.	Фонтанировал.
	11 час. 27 мин. — 11 час. 30 мин.	Фонтанировал.	Бездействовал, потом начал прерывисто фонтаниро- вать.
	18 августа 1951 г.	11 час. 30 мин. — 11 час. 47 мин.	Бездействовал.
11 час. 47 мин. — 11 час. 51 мин.		Фонтанировал.	Бездействовал.
11 час. 51 мин. — 12 час. 09 мин.		Бездействовал.	Фонтанировал.
12 час. 09 мин. — 12 час. 12 мин.		Фонтанировал.	»
12 час. 12 мин. — 12 час. 37 мин.		Бездействовал.	»
8 час. 58 мин. — 9 час. 03 мин.		Фонтанировал.	Бездействовал и прерывисто фонтаниро- вал.
18 августа 1951 г.	9 час. 03 мин. — 9 час. 25 мин.	Бездействовал.	Фонтанировал.
	9 час. 25 мин. — 9 час. 28 мин.	Фонтанировал.	Бездействовал и прерывисто фонтаниро- вал.
	9 час. 28 мин. — 9 час. 48 мин.	Бездействовал.	Фонтанировал.
	9 час. 48 мин. — 9 час. 52 мин.	Фонтанировал.	Бездействовал и прерывисто фонтаниро- вал.
	9 час. 52 мин. — 10 час. 14 мин.	Бездействовал.	Фонтанировал.
	10 час. 14 мин. — 10 час. 18 мин.	Фонтанировал.	Бездействовал, потом преры- висто фонта- нировал.
	10 час. 18 мин. — 10 час. 38 мин.	Бездействовал.	Фонтанировал

Связь в поведении двух приведенных выше гейзеров явная. Извержение Нового Фонтана могло прекращаться с началом извержения Фонтана, возможно, потому, что охлажденная падающая вниз масса воды попадала в грифон рядом находящегося Нового Фонтана, и извержение на некоторое время прекращалось с тем, чтобы снова начаться, когда уменьшится это попадание. Наоборот, охлажденные воды Нового Фонтана попадали в грифон Фонтана и влияли на характер его цикла, в результате чего из него выпадали те или иные стадии (пара, кипения).

### III. К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ ТЕПЛА.

Тепло воды гейзеров и термальных ключей может зависеть, во-первых, от нормального повышения температуры с глубиной, во-вторых, от происходящих химических реакций, в-третьих, от радиоактивного распада элементов и, наконец, от горячего магматического тела, находящегося на глубине.

Сторонники теории нагрева от нормального температурного градиента обычно не принимают во внимание то, что поверхностная вода, спускающаяся на глубину с первоначально низкой температурой, не изменяет температуру окружающих пород. В системе, где существуют глубоко проникающие воды, последние должны понижать температуру пород, и в этих районах температурный градиент должен быть ниже, чем в других районах.

Поэтому, если в районе термальных источников геотермическая ступень ниже нормальной, можно считать, что причиной тепла источников является температурный градиент. Если с углублением изотермическая ступень выше нормальной, то причину тепла надо искать в трех других указанных выше случаях.

Большинство исследователей считает, что химические реакции не могут дать большого повышения тепла. Так, по подсчетам Дей и Аллен (Day and Allen, 1925), протекающие химические процессы разложения могут дать только 2% тепла, требующегося для нагрева воды источников.

Измерения радиоактивности вод термальных ключей не говорит и в пользу третьего предполагаемого источника тепла. Воды горячих источников и гейзеров большей частью почти нерадиоактивны и часто менее радиоактивны, чем воды холодных источников.

Главным источником тепла термальных ключей в районах современного вулканизма и в частности Камчатки являются, повидимому, залегающие на глубине вулканические очаги. В районах кислых сульфатных источников в кальдерах и на склонах угасающих вулканов, находящихся в сольфатарном состоянии, например, на вулканах Узоне и Семячике, эта связь очевидна. В верхнегейзерных источниках и в гейзерах она тоже почти очевидна: в кратере самого молодого конуса Савича вулкана Кихпинича еще действуют фумаролы с температурой около 100°. В верхнегейзерном районе среди термальных источников имеются типичные сольфатары с энергично выделяющимися вулканическими газами  $H_2S$ ,  $CO_2$ . Район гейзеров, наиболее удаленный от вулкана Кихпинича, представляет по существу тоже сольфатарное поле, но менее активное. Сольфатарные проявления являются свидетелями застывающего на некоторой глубине вулканического тела. В районе гейзеров, к сожалению, не проводились буровые работы, однако температура на поверхности здесь очень высокая. По существу, кипит вся грунтовая вода: почва на глубине 5—10 см имеет температуру 92°, а в некоторых точках, где выходят струи перегретого пара, температура достигает 117°.

### IV. РАЗЛИЧНЫЕ ТЕОРИИ ГЕЙЗЕРОВ

Необычайное проявление некоторых термальных источников, характеризующееся периодическими извержениями, вызвало необходимость объяснения причины такого их действия. С начала прошлого столетия начали появляться научные теории механизма извержения гейзеров.

В 1812 г. была опубликована первая научная теория гейзеров. Творец этой теории Макензи (MacKenzie, 1812) предполагал, что причиной извержения гейзеров является расширяющая сила пара в невидимых подземных камерах. Круг фон Нидда (Krug von Nidda, 1836) посетил Ислапдию в 1833 г. Он наблюдал и хорошо описал деятельность вулканов и горячих

источников. По его мнению, горячий пар представляет внутреннюю силу как вулканов, так и гейзеров. Он считал, что гейзерная система имеет подземную структуру, состоящую из каналов, в которых может собираться горячая вода и пар. Поднимающийся пар будет направляться в трубу центрального гейзера и выталкивать воду. Давление оставшейся воды этим будет снижено, и вода закипит и вызовет извержение. Длина гейзерного периода, по Кругу, это функция величины камеры, длины водяного столба гейзерной трубы и тепла, подаваемого снизу.

Бунзен и Деклаузо (Bunzen a. Descloiseaux, 1846) на ряде опытов, наблюдений и расчетов на примере Большого Гейзера Исландии обосновали свою новую теорию механизма гейзеров. К тому времени уже было доказано Халлгримсоном и Лоттином (Hallgrimsson, 1838; Lottin, 1838), что температура воды в трубе гейзера с глубиной увеличивается и на некотором горизонте превышает  $100^{\circ}$ . Это увеличение температуры было приписано авторами увеличению давления с глубиной.

В результате измерений температуры в канале Большого Гейзера Бунзен и Деклаузо подтвердили, что температура водного столба увеличивается по направлению сверху вниз и дополнительно установили, что:

1. температура в точках тем выше, чем больше прошло времени с момента последнего извержения;
2. даже за несколько минут перед извержением температура воды не достигает точки кипения, соответствующей давлению (атмосфера плюс столб воды) на месте наблюдений.

По теории Бунзена, в нижнюю часть открытого канала гейзера из более глубоких слоев земной поверхности поступает вода, нагретая до температуры выше  $100^{\circ}$ ; верхние слои воды имеют более низкую температуру. В том месте, где приток тепла происходит всего сильнее (у Большого Гейзера, например, по данным Бунзена, в нижней трети его канала), давление водяного столба преодолевается раньше, чем в других частях, и некоторое количество воды обращается в пар; образуются пузыри пара, которые поднимаются вверх. Температура всей водяной колонки повышается; пары выделяются все стремительнее и, когда их напряжение увеличивается настолько, что верхняя часть водяного столба поднимается, пар вырывается наружу. Это влечет к уменьшению давления; перегретая вода мгновенно обращается в пар и вызывает извержение. Часть охлаждающейся на воздухе воды попадает обратно в воронку гейзера и охлаждает находящуюся еще в канале воду. Извержение гейзера прекращается на время, в течение которого поступающие из глубины горячая вода и пар не создадут условия для вскипания воды, после чего снова следует извержение. Периодичность и сила извержения зависят, по Бунзену, от температуры и количества воды, поступающей снизу, высоты и диаметра канала гейзера.

Теория Бунзена стала наиболее популярной и вошла во многие специальные книги и учебники как универсальная. Однако сам Бунзен говорил, что его теория относится только к Большому Гейзеру, и извержения Малого Гейзера уже не могут быть объяснены ею.

Дальнейшие исследования действительно показали, что теория Бунзена применима не ко всем случаям извержений гейзеров и даже в применении к Большому Гейзеру требует дополнений.

Первые изменения в теорию Бунзена внес Ланг (Lang, 1880), объяснивший притоком холодной воды перемежаемость в действии гейзеров. Приток холодной воды на время прекращает извержение. Кроме того, Ланг возражал против вскипания воды в канале на некоторой глубине, поскольку существует циркуляция.

Аллен и Дей на основании изучения гейзеров Йеллоустонского парка дали схему их подземного строения. Переносчиком тепла они считают



струи перегретого пара, поднимающиеся от магматического очага. Пар, конденсируясь, дает 12—15% общего дебита воды гейзеров. Пар нагревает воду, заполняющую подземные трещины, до температуры, значительно превышающей температуру кипения на поверхности. Перегретая вода, получив доступ к поверхности, вызывает бурное извержение. Для существования гейзеров необходимо определенное соотношение между запасом тепла и притоком прохладной воды. Если тепла много, а воды мало, она вскипает по мере поступления, и в этом случае образуются кипящие ключи и паровые струи. Периодическое же действие гейзеров Аллен и Дей объясняют притоком холодной воды.

Торкельсон (Thorkelsson, 1928, 1940, 1942), критикуя теорию Бунзена, обосновал свою теорию гейзеров расчетами, однако она осталась мало известной, поскольку его работы были опубликованы в мало распространенных исландских и датских журналах.

В последней своей работе Барт (Barth, 1950) подробно излагает теорию и расчеты Торкельсона, вполне их разделяет и развивает дальше.

Гейзерную систему эти авторы рисуют следующим образом.

Бассейн гейзера сообщается с большим числом подземных камер, проходов и каналов, которые опоражниваются в выходном канале. Правда, авторы сами признают, что такие структуры еще никогда не наблюдались. Хотя в Исландии имеется несколько прекративших действие гейзеров, ни один из них не был еще исследован. Барт ссылается на то, что в Новой Зеландии есть гейзер, строение которого частично исследовано. Гейзер расположен в Вакерварева и описан Гербертом (Herbert, 1921). Устье этого гейзера идет вниз через короткую трубу в сводчатую камеру: на дне ее открываются мелкие проходы, через которые и входят вода и пар.

На основании исследования буровых скважин в Йеллоустонском парке Феннер (Fenner, 1934) тоже пришел к заключению, что гейзерная система является очень сложной. Неправильный главный канал идет с поверхности на небольшую глубину и здесь соединяется с рядом ответвляющихся трещин и каналов, идущих в разных направлениях. При извержении и последующем снижении давления из присоединяющихся каналов в основную трещину поступают большие количества воды. Вода может быть либо недостаточно нагретой и тогда до определенного времени конденсирует пар, либо достаточно горячей и тогда она продолжает извергаться.

В зависимости от температуры поступающей воды струя во время извержения может замирать и снова взлетать. Так, в Большом Гейзере во время одного извержения Феннер видел до 21 таких взлета, разделенных паузами.

Из наблюдений над гейзерами Исландии Барт делает следующие выводы.

1. Гейзеры очень нерегулярны; образуются новые гейзеры, умирают старые. Мелкие гейзеры действуют ритмично, чего нельзя сказать о больших гейзерах. Многие не обнаруживают и следов периодичности, являясь просто горячими источниками, которые через значительные промежутки времени извергаются. Автор, как и Зондер (Sonder, 1937), сравнивает их с извержениями вулканов.

2. Гидростатическое движение в любой точке не равняется весу вышележащей колонны воды, что объясняется поднимающимися пузырьками газа.

3. У некоторых гейзеров перегрев не является обязательным условием для извержения.

4. В промежутки между извержениями не наблюдается правильного и регулярного повышения температуры в колонне. Эти наблюдения,

по Барту, указывают на то, что не только тепло вызывает извержение. Барт считает, что газы источников, освобождающиеся при высоких температурах, представляют фактор, вызывающий действие гейзеров.

Как метеорные, так и ювенильные воды всегда насыщены газами, которые выделяются вблизи земной поверхности, где давление невелико. Образующиеся пузырьки газа, находясь в контакте с водой, насыщаются водяным паром. Если температура близка к точке кипения, то в пузырьках количество пара по сравнению с другими газами является преобладающим.

Так, Торкельсон высчитал, что если температура на  $2^{\circ}$  ниже точки кипения, то газы составляют по объему 6,9%, а пары воды — 93,1%; при температуре ниже точки кипения на  $0,5^{\circ}$  в пузырьках газов 1,8%, паров воды — 98,2%. Однако, хотя газы и составляют такое малое количество, они представляют необходимое условие существования пузырьков. При удалении газов из пузырьков последние спадают.

Барт разделяет теорию Торкельсона. Он дает схематическую картину строения Большого Гейзера, как сложную систему из канала и ряда подводных каналов и камер. Исходя из огромной массы воды, выброшенной при извержении Большого Гейзера, и основываясь на уравнении Торкельсона, Барт принимает скорость струи 30 м/сек. Объем воды в струе гейзера — 25%, пара — 75%. Отсюда рассчитывает, что объем подземной системы превосходит (по объему) основной канал в десятки раз.

Не только канал, но и вся система с горячей водой принимает участие в извержении и более или менее опоражнивается.

По Барту, температура горячих источников и гейзеров и количество газа подвержены быстрому изменению. В качестве примера он приводит колебания температуры на сольфатарах. Большие колебания в интенсивности выделения газов наблюдались в грязевых котлах, имеющих температуру около  $90^{\circ}$ ; поверхность временами была совершенно спокойна, а временами происходило интенсивное выделение значительных количеств газа, вызывая бульканье. Однако автор отмечает, что температура оставалась значительно ниже точки кипения. Механизм извержения у разных гейзеров и источников различный, однако газы во всех случаях играют значительную роль.

Барт рисует основной механизм извержения гейзеров следующим образом. Гейзерная система питается горячей водой снизу. В случае постоянных температурных условий слабое выделение пузырьков (вскипание) происходит недалеко от поверхности и распространяется вниз. Однако пространство распространения будет невелико, так как происходит охлаждение конвекционными токами, и пузырьки будут спадать. В случае прихода снизу значительного количества горячей воды с большим количеством пузырьков газа происходит сильное выделение их; тепло быстро переносится газовыми пузырьками вверх, начинается кипение, которое распространяется вниз, и в извержении принимает участие большое количество воды. Барт сравнивает извержение гейзера с случаем, когда из бутылки с содовой водой вытаскивают пробку, при этом в воде образуются пузырьки, и она выбрасывается вверх.

Извержение прекращается, когда большие количества газа и воды будут выброшены и в системе не останется ни воды, ни энергии, чтобы поддерживать извержение.

Иной механизм извержения, по Барту, может быть у регулярных гейзеров Баостофувера и Уичвера. Каждый из них имеет большой дебит. Сильный идущий вверх поток делает температуру в гейзерной трубе на некоторой глубине постоянной на длительный период времени. На температуру совершенно не влияют происходящие извержения. Оба гейзера действуют ритмично с короткими циклами. Большая часть воды,

выброшенная во время извержения, падает обратно в грифон. Барт предполагает, что возвращающаяся таким образом в грифон вода сбивает эффект газовых пузырьков в верхней части. Это вызывает увеличение гидростатического давления, что будет препятствовать выделению пузырьков на глубинах. Сильным идущим вверх потоком эта вода выталкивается наружу, изливается, и опять начинается выделение пузырьков, которое быстро распространяется вниз, и снова вызывается извержение.

С. А. Дуров (1948) при экспериментальных исследованиях причин пенистого переброса и уноса солей в паровых котлах увидел сходство с природным явлением извержения гейзеров.

Автором были поставлены опыты по выяснению влияния содержащихся в воде коллоидов. В случае наличия в колбе достаточной концентрации электролита при нагревании происходил выброс компактной струи смеси воды с паром на высоту 5 м. Если же бралась дистиллированная вода или раствор соли недостаточной концентрации, то при открытии пробочки вылетал водяной пар с отдельными брызгами или всплесками воды, поднимающимися на высоту всего лишь 1—2 м.

Дуров считает, что в теорию Бунзена, объясняющую механизм действия гейзеров, надо внести существенное дополнение. Чтобы при извержении гейзеров вырывалась компактная пенообразная смесь пара с водой, необходимо присутствие в воде электролитов и коллоидных веществ.

Наблюдения С. А. Дурова по пенистому перебросу, а также указания многих наблюдателей на возможность преждевременного вызова извержения гейзера путем добавления в его воду мыла или кусков дерна с землей позволили Дурову нарисовать следующую картину существенного участия неорганических коллоидов в механизме действия гейзера.

Вода в канале гейзера постоянно нагревается до кипения, которое начинается в какой-то части канала, довольно значительно удаленной от поверхности. При этом образуются пузыри пара, которые начинают подниматься вверх. Они оказываются перегретыми относительно жидкости в верхней части. В зависимости от продолжительности жизни пузырей происходит большее или меньшее поднятие всего вышележащего столба жидкости.

Продолжительность жизни пузырей пара, по Дурову, зависит от двух моментов — от степени перегрева в месте образования их и от стойкости их поверхностных пленок. Последнее свойство находится в прямой зависимости от наличия коллоидов и их взаимодействия с электролитами.

После каждого опораживания канала при извержении должно снова образоваться некоторое количество коллоидов, чтобы стало возможным новое извержение. Сложность этих коллоидно-химических процессов вполне объясняет уклонения в периодичности извержений.

Как только в кипящем слое воды соберется достаточное количество коллоидов оптимальной степени дисперсности, сейчас же вследствие увеличившейся продолжительности жизни пузырей происходит подъем всего столба воды, часть ее переливается через край, причем верхний слой оказывается нагретым до 100° или выше, и немедленно начинается адиабатическое испарение (кипение) воды. Но только наличие коллоидов обеспечивает совместное извержение воды с паром в виде одной мощной струи. Не только переливание верхних слоев через край, но и поднимающиеся пузыри пара могут привести к повышению температур.

Адиабатический процесс идет только при достаточно большом перегреве верхнего слоя жидкости. Для этого требуется не постепенное нагревание, как это следует из физической теории Бунзена, а резкое, скачкообразное повышение температуры, скачкообразный подъем водяного столба вследствие крайне быстро возросшей продолжительности жизни

пузырей пара. Этому требованию вполне отвечают коллоидно-химические процессы, а именно, коагуляция водного раствора и непитизация геля электролитами, что происходит при незначительных изменениях концентрации электролитов или температуры и приводит к резкому увеличению неоднородности раствора с появлением тонкодисперсной твердой фазы. Весьма быстро появляются новые поверхностные слои и связанные с ними накопления поверхностной энергии. Становится понятным действие мыла: оно вносит в воду гейзера недостающие коллоидные вещества.

Интересны математические выкладки из теории Дурова.

Перед извержением температура воды в канале гейзера близка к точке кипения, т. е. в верхней части канала она около  $100^{\circ}$ , а на глубине 25 м — до  $135-137^{\circ}$ . Для столба воды высотой 25 м среднюю температуру можно принять равной  $118^{\circ}$ . Адиабатическое испарение этого водяного столба устраняет перегрев на  $18^{\circ}$ . При этом из каждых 100 кг воды переходит в парообразное состояние следующее количество:

$$x = \frac{100}{(539 : 18) + 0,52} = 3,28 \text{ кг.}$$

Таким образом, испаряется количество воды в 3,28 кг по весу, что составляет по объему следующее содержание воды в струе:

$$y = \frac{96,72 \times 100}{3,28 \times 1674 + 96,72} = 1,73 \%.$$

Полученную величину для объемной доли жидкой воды в струе, по Дурову, надо считать максимальной, так как некоторая часть воды не будет увлечена паром и останется в канале.

Согласно полученным данным, 3,28 кг пара поднимут на высоту 50 м 96,72 кг воды. Произведенная работа равна 4836 кгм, что составляет только 8,6% от всей энергии расширения пара.

При начальной скорости гейзерной струи около 30 м/сек. и глубине канала 25 м время испарения такого количества пара составит следующую величину:

$$\frac{(3,28 \times 1674 + 96,72) \times 25}{100 \times 30} = 46,7 \text{ сек.}$$

Это отвечает форсировке  $63212 \text{ кг/м}^2$ .

Из обзора существующих теорий механизма гейзеров резко намечается два направления. С одной стороны, исходят только из физических условий, с другой стороны, привлекают физико-химические данные (Барт и Торкельсон — состав растворенных газов; Дуров — присутствие в воде электролитов и коллоидных веществ).

Автор этой статьи не создает новой теории механизма действия гейзеров, поскольку наблюдения над режимом их были кратковременные и неполные, а только высказывает свое отношение к некоторым моментам.

Некоторые соображения о подземной струе. Гейзеры и другие термальные источники требуют особых гидрогеологических условий, в частности наличие глубоких открытых трещин, по которым глубинные нагретые и перегретые воды имели бы быстрый доступ к поверхности.

Длительные и мощные извержения некоторых гейзеров, в результате которых на поверхность выбрасываются большие массы воды и пара, у ряда авторов вызвали предположение о существовании больших подземных резервуаров — камер, связанных с каналом гейзера. Расчеты Дурова, основанные на изучении пенистого переброса, показали, что в мощной паро-водяной струе гейзеров даже при максимальном выбросе

количество воды по объему может составлять только 1,5%, а не 25%, как считает Барт. Можно думать, что количество воды, требующееся для извержения, должно быть не так велико, чтобы предполагать наличие больших камер в подземной структуре гейзеров.

Извержения большинства гейзеров Камчатки кратковременны (чаще меньше 5 мин.), а объем воды, выброшенной при каждом извержении, только незначительно или в несколько раз превышает объем грифона. Так, например, при извержении Великана, наиболее мощного гейзера, во время каждого извержения выбрасывалось около 23 000 л воды (подсчитано по текущему во время извержения ручью). Грифон Великана глубиной 3 м, сечением  $3 \times 1,5$  м вмещал по грубым подсчетам 13 500 л воды, следовательно, для обычного извержения Великана нужен объем трещин ниже грифона меньший, чем объем самого грифона.

Подземная структура гейзеров, вероятно, очень сложная: ряд трещин различных направлений соединяются друг с другом в один или несколько каналов и выходят в грифон. Так, у Нового Фонтана видно три канала, у Великана — один. У некоторых камчатских гейзеров, расположенных в нескольких метрах друг от друга, не заметно зависимости в их поведении, поэтому можно думать, что система трещин, питающих их вблизи поверхности, не имеет широкого радиуса распространения. Конечно, нельзя стать на такую точку зрения, что системы трещин, питающих гейзер, совершенно изолированы от системы трещин, питающих рядом находящийся гейзер. Вероятно, эта связь есть, но в извержение вовлекается вода, заполняющая только неглубокие части системы. Довольно значительный приток охлажденных вод быстро прекращает извержение, и в него не успевает вовлекаться более глубокая система трещин, заполненных поднимающимися водами. В Исландии и в Йеллоустонском парке есть примеры зависимости поведения одного гейзера от другого, и эти примеры говорят о сложной системе трещин на глубине.

В самом извержении гейзеров надо объяснить два момента: причину извержения гейзеров и причину периодичности.

О причине извержения гейзеров. Для гейзеров характерны три момента: а) скрытое нарастание напряжения — подъем воды из более глубоких частей и наполнение гейзерной системы, освобожденной извержением; б) видимое нарастание напряжения — наполнение грифона, нагрев воды до кипения; в) само извержение. Остановимся на каждом из моментов в отдельности.

После очередного извержения у большинства гейзеров в грифоне и канале нет воды. Мы этот период называем фазой покоя. В извержение была вовлечена вода гейзерной системы до какой-то глубины. Требуется определенный период времени, чтобы вода наполнила приповерхностную гейзерную систему и появилась в грифоне. Этот срок у наших гейзеров непостоянен. Стадия подхода воды к грифону вызвана притоком сильно и мало нагретых вод, дебит которых, по нашему мнению, для одного и того же гейзера более или менее постоянен, а для разных гейзеров различен. Таким образом, длительность покоя у разных гейзеров зависит от дебита, а также от степени вовлечения глубоких частей гейзерной системы в извержение, а для одного и того же гейзера в основном от последнего момента. Мы неоднократно наблюдали, как колебалась длительность фаз извержения и пара, отсюда понятно, что если даже в соседних циклах они различаются на небольшой отрезок времени, то и тогда гейзерная система по-разному вовлекалась в извержение.

После того как вода появится на дне грифона, наполнение его происходит более или менее постоянно за счет относительно постоянного дебита, усиливаясь перед самым извержением за счет начала вскипания и усиленного выталкивания воды. Конечно, при других атмосферных условиях

дебит вод меняется, соответственно должно будет измениться и время наполнения гейзерной системы.

Нагрев воды происходит за счет излияния охлажденных вод верхних частей грифона из непрерывного подъема более нагретых вод из глубины, а также переноса тепла пузырьками. Кипение начнется с поверхности тогда, когда нагрев превзойдет охлаждение у поверхности и будет распространяться в более глубокие части.

Само извержение гейзера вызвано взрывом. Причину взрыва надо видеть в подъеме высоконагретых вод (выше  $100^{\circ}$ ), которые в определенных условиях становятся перегретыми. Перегрев произойдет при уменьшении давления в связи с подъемом воды и отчасти за счет бурного выделения пузырьков газа и пара, в результате чего получается колонна воды, насыщенной пузырьками газа естественно меньшего удельного веса, чем прежде. Образованию смеси воды и пузырьков способствует состав воды: присутствие электролитов и коллоидных веществ и наличие растворенных в воде газов, которые увеличивают прочность и продолжительность жизни пузырьков.

Там, где по отношению к давлению вода становится перегретой, происходит на некоторой глубине от поверхности взрыв — бурное испарение перегретой воды. Водопаровая смесь объема столба выше места взрыва выбрасывается высоко вверх. Дальнейшее извержение развивается за счет втягивания поднимающихся вследствие уменьшения давления сильно нагретых вод более глубоких частей гейзерной системы, становящихся по мере подъема перегретыми и бурно переходящими в пар. Математические расчеты Дурова помогают представить этот механизм. У Великана во время его извержения около 100 кг воды переходит в пар и этого больше чем достаточно, чтобы поднять на высоту 40 м около 25 000 кг воды. Испарение этого количества воды по расчету произойдет за 70 сек., что и соответствует действительному времени извержения Великана (1—1,5 мин.). Извержение часто заканчивается, как это имеет место у Малого, Великана, Жемчужного, струей — фонтаном пара, когда воды в струе почти нет. Это происходит за счет того, что вода верхней части системы использована на извержение, а поднимающиеся из глубины малые количества перегретой воды полностью переходят в пар. Выделение пара продолжалось бы все время, и необходимо наличие определенных условий, чтобы извержение прекратилось.

**О причине периодичности.** Ланге первый предположил, что причиной прекращения извержения является приток холодной воды. Многие авторы согласны с Ланге, и нам кажется, что это предположение наиболее правильно объясняет прекращение извержения.

Охлажденная падающая из фонтана вода, как думали некоторое время, вряд ли играет решающую роль. Мы знаем гейзеры, как, например, Горизонтальный, у которого фонтан бьет почти горизонтально, а сам он расположен на крутом склоне, и совсем исключена возможность попадания в грифон охлажденной падающей воды. У других гейзеров фонтан бьет под углом, и здесь также очень незначительное количество охлажденной воды из фонтана попадает в грифон. Поэтому охлаждение происходит в основном за счет притока менее нагретых вод, а таковые, вероятно, имеются: в районе гейзеров на поверхности мы видим выходы теплых ключей. Влияние притока мало нагретых вод сказывается не сразу, и фаза пара сначала ослабевает, а потом заканчивается. Охлаждающий эффект падающей воды из фонтана мы, правда, наблюдаем у некоторых гейзеров, например, у Фонтана и Нового Фонтана. Гейзеры расположены на горизонтальной площадке, струя воды бьет почти вертикально, наглядно видно, как вода падает обратно в грифон. У обоих этих гейзеров почти нет фазы пара, и извержение быстро прекращается.

Приток прохладных вод идет медленно, и конец извержения растягивается на некоторое время. При наличии определенных условий (вертикальный канал, значительная площадь грифона) падающая каскадом вниз охлажденная вода фонтана дополнительно влияет на извержение, более резко ускоряя его прекращение.

О причине регулярности. Остается разобрать вопрос о причине регулярности извержений гейзеров. Из всех известных гейзеров мира камчатские гейзеры наиболее регулярны, однако точности и в их поведении нет. Даже десятидневные наблюдения за режимом гейзеров вскрыли их неточность, которая еще больше возрастет, когда мы будем располагать данными более длительных наблюдений. Та относительная регулярность, которая наблюдается у камчатских гейзеров, объясняется, вероятно, постоянным дебитом как сильно нагретых, так и слабо нагретых вод, которым, конечно, могут обладать только метеорные воды глубокой циркуляции. Более или менее постоянный дебит мы видели при наблюдениях за Великаном и Жемчужным, когда наполнение грифона в соседних циклах продолжалось более или менее одно и то же время, а изливание происходило с близкой интенсивностью. При более или менее постоянном дебите и постоянном объеме гейзерной системы можно ожидать той регулярности, которую мы и наблюдаем в долине р. Гейзерной.

Причина разнообразия поведения гейзеров заключается в несовпадении условий.

Различным может быть дебит сильно нагретых и слабо нагретых вод. В случае малого притока слабо нагретых вод по отношению к притоку сильно нагретых фонтанирование водой должно смениться фонтанированием пара, как мы это видели у гейзеров Малого и Великана, или же извержение затянется, как, например, у Большого. В случае достаточного притока слабо нагретых вод извержение закончится скорее; примером служит Жемчужный. Дебит сильно нагретых вод, конечно, тоже влияет на характер цикла гейзера.

Характер гейзерной системы, например, объем грифона и в первую очередь диаметр его, оказывает не малое влияние на поведение гейзера. Чем больше площадь охлаждения, тем дольше происходит нагрев воды до кипения. При больших размерах грифона или канала накопление, нагрев и охлаждение поверхности, образование водогазовой смеси будет протекать не так, как у гейзера с меньшими размерами грифона.

Мы видим, с одной стороны, более или менее регулярный характер извержений гейзеров и, с другой — большое разнообразие в извержении гейзеров с присущими каждому гейзеру своими особенностями поведения.

Влияние физических условий на характер извержения гейзеров мы видим на примере Большого Гейзера в Исландии.

С 1915 по 1935 г., т. е. в течение 20 лет, гейзер не действовал совершенно. Извержение было вызвано искусственно геологом Трауста Эйнарсеном (Rehm, 1935). Перед замиранием гейзера температура в бассейне была до 90°, потом стала только 60°. Эйнарсен исходил из того, что уменьшением охлаждающей поверхности воды, соприкасающейся с воздухом, могут быть вызваны явления выброса. Им был проделан горизонтальный жолоб, и таким образом был понижен уровень воды в бассейне. Диаметр водной поверхности уменьшился с 18 до 10 м и соответственно площадь охлаждающей поверхности с 250 до 80 м<sup>2</sup>. При этом давление на нижнюю часть канала уменьшилось на 0,08 атм. Соответственно должна была понизиться температура кипения на глубине. В действительности после понижения уровня воды температура повысилась с 60 до 93°; на глубине 10 м она составляла 120°, у конца трубы — 125°. Через 3 часа 15 мин. после спуска воды последовало первое извержение.

Влияние физико-химических условий на состояние гейзера мы видели на примере, когда извержение гейзера вызывалось (приближалось) бросанием в воду мыла, земли.

По нашему мнению, для существования гейзеров необходимы следующие условия.

1. Проявление в районе современного вулканизма или наличие на глубине кристаллизующейся магмы, создающих, с одной стороны, весьма повышенный температурный режим и, следовательно, условия для перегрева циркулирующих подземных вод и, с другой стороны, влияющих на состав этих вод.

2. Наличие вертикальных или наклонных открытых трещин, по которым сильно нагретые воды могли бы быстро попадать на поверхность.

Периодичность извержений осуществляется только при наличии притока в гейзерные системы менее нагретых вод.

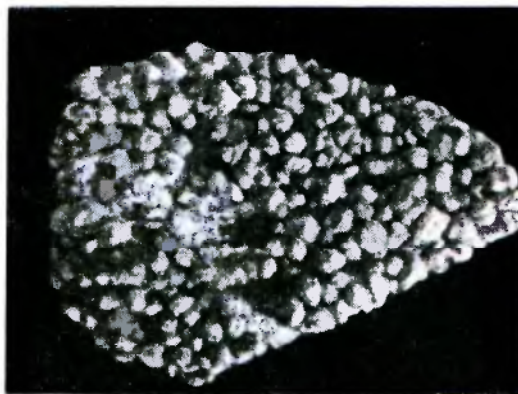
Для более или менее регулярных гейзеров является характерным более или менее постоянный дебит вод.

#### V. ОСАДКИ ВОД ГЕЙЗЕРОВ

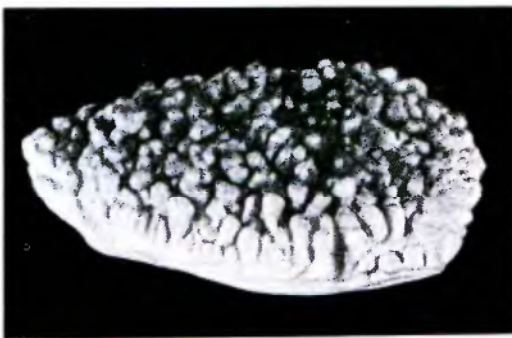
Вокруг гейзеров можно видеть обильные отложения кремнезема в виде гейзеритов и кремневой муки. Гейзериты имеют различные формы: в одних случаях, как, например, около Великана и Фонтана, это кремневые террасы, ступенчатообразные площадки, в других случаях гейзерит участвует в постройке вокруг грифона, покрывая слоем поверхность камней: у гейзера Жемчужного образует красивую чашу, у других гейзеров — полуконусы. Больших сооружений из гейзеритов, таких, как, например, в Исландии и в Йеллоустонском парке, у гейзеров Камчатки нет. Отсутствие больших кремневых построек около гейзеров Камчатки, возможно, в некоторой степени характеризует относительную молодость их, поскольку состав воды большинства гейзеров земного шара близок.

Гейзериты представляют собой тонкослоистые образования, однако внешняя форма их разная: на Жемчужном на поверхности как бы рассыпан жемчуг, у Великана поверхность гейзерита покрыта каменными цве-

тами и иногда имеет замысловатый кружевной рисунок. Около других гейзеров гейзерит имеет мелкоскорлуповатую, раковистую, игольчатую, зубчатую, ячеистую формы [фиг. 20 (1, 2), 21 (1, 2), 22 (1—3), 23 (1—4)].



1

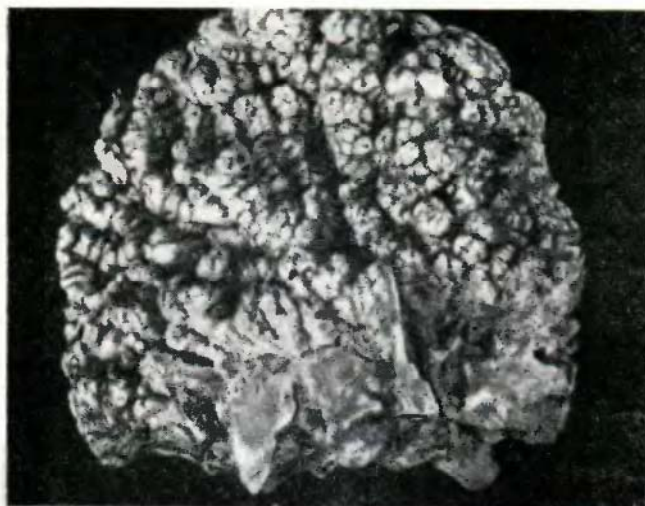


2

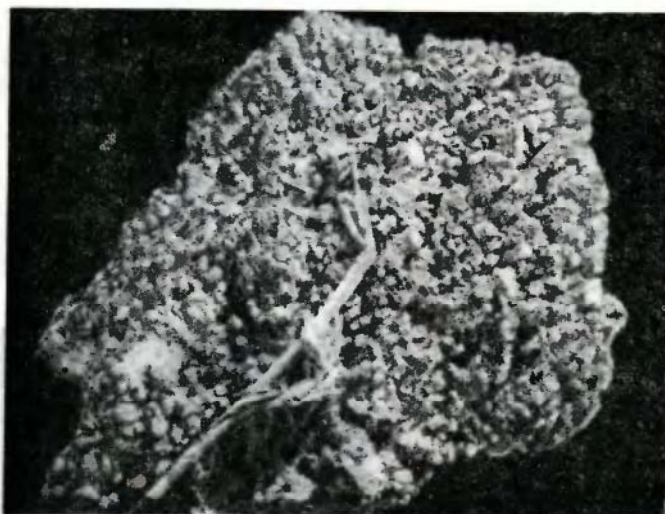
Фиг. 20 (1, 2). Гейзерит Жемчужного.



Объяснить причину такого разнообразия форм поверхности гейзеритов автор затрудняется. Было только замечено, что поверхность гейзерита в периодически орошаемых участках имеет более крупные причудливые формы, обтекаемые участки имеют более мелкие формы, в частности струйчатые; для участков гейзерита, постоянно находящихся в воде, характерна гладкая и реже раковистая поверхность.



1

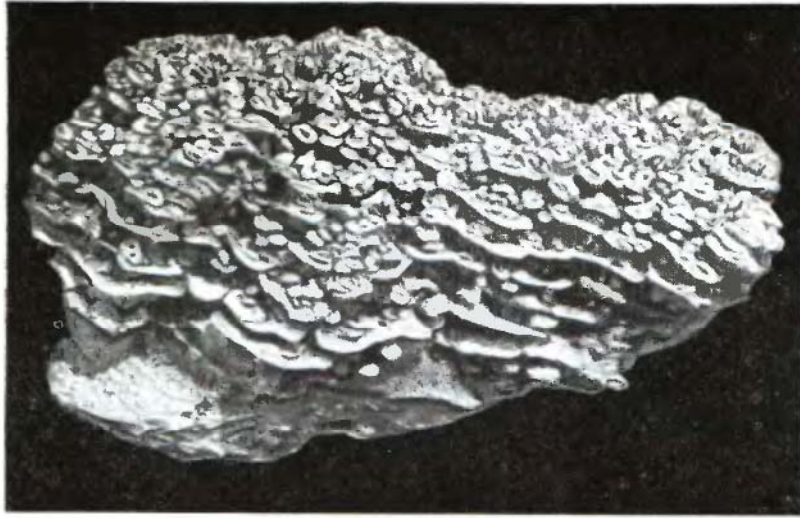


2

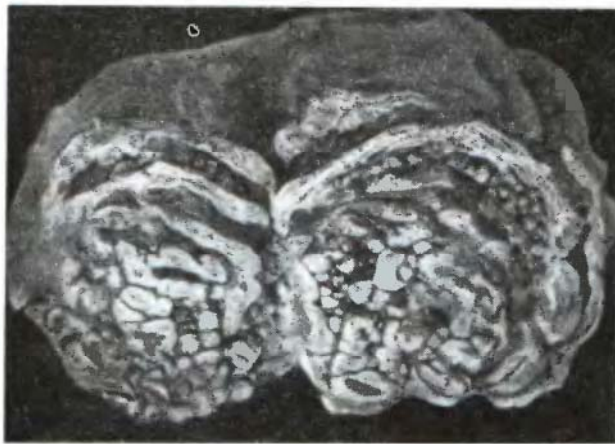
Фиг. 21 (1, 2). Гейзерит Жемчужного.

Цвет гейзеритов варьирует незначительно; чаще гейзерит кремовый, белый, сероватый и совсем редко — зеленоватый. В гейзерите, окрашенном в зеленоватый цвет, спектроскопически обнаружены следы меди и ничтожные следы ванадия; в белых и кремовых образцах эти элементы не установлены. Розоватые и буроватые цвета гейзерита, вероятно, зависят от находящегося в нем окисного железа.

Ниже (табл. 4) приводится химический анализ гейзерита и кремневой муки гейзера Великана.



1



2



3

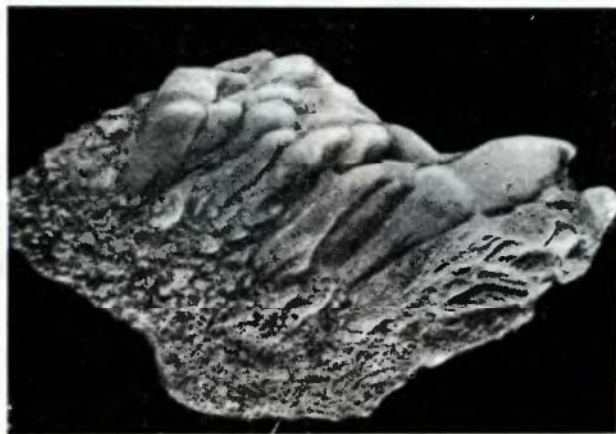
Фиг. 22 (1, 2, 3). Гейзерит Великана.



1



2



3



4

Фиг. 23 (1, 2, 3, 4). Разные формы гейзерита.

Каменная мука осаждается на площадке Великана в русле и в углублениях, заполненных водой, извергающейся из этого гейзера. Хотя оба анализируемых образца осаждались из воды Великана, химический состав их различный.

В то время как гейзерит состоит почти из одной кремнекислоты ( $\text{SiO}_2$  — 88,37%; примеси:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 3,76% и  $\text{CaO}$  — 1,33%), в каменной муке ее меньше ( $\text{SiO}_2$  — 61,65%; примеси:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 12,30%, остальные — щелочи, причем калиевых больше, чем натриевых, окислы железа, кальция и магния).

Таблица 1

Окислы	Весовые %		Окислы	Весовые %	
	I	II		I	II
$\text{H}_2\text{O}$	5,95	12,73	$\text{Na}_2\text{O}$	сл.	1,97
в процентах			$\text{CaO}$	1,33	2,66
на сухие			$\text{MgO}$	0,06	1,82
количества *			$\text{P}_2\text{O}_5$	0,12	нет
$\text{SiO}_2$	88,37	61,85	$\text{As}_2\text{O}_3$	0,21	нет
$\text{TiO}_2$	0,05	—	$\text{B}_2\text{O}_3$	0,17	?
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,61	12,30	$\text{SO}_3$	0,11	1,06
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,76	3,00	Потеря при	5,15	
$\text{FeO}$	—	0,08	прокалив.		
$\text{K}_2\text{O}$	сл.	1,97			

Примечание. I. Гейзерит Великана. Анал. Е. Ф. Прокофьевой. II. Кремневая мука Великана. Анал. Н. Н. Шавровой.

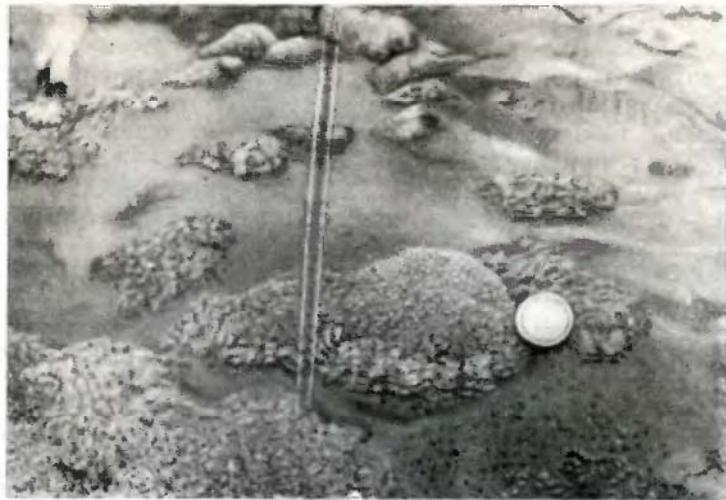
Вероятно, из воды осаждается каменная мука смешанного состава, а на образование гейзерита заимствуется в основном кремнезем. Эта переработка, возможно, происходит с участием бактерий, в результате чего и получается своеобразная форма гейзерита, особенно у Великана, где над водой возвышаются постройки, напоминающие колонии кораллов [фиг. 24 (1, 2)].

Под микроскопом в шлифах гейзерита, взятого из пониженных участков террасы Великана, заполненных гейзерной водой, видно слоистое строение (шлиф сделан перпендикулярно поверхности отложения). В этом разрезе, далеко не охватывающем всей мощности отложения гейзерита, насчитывается 22 полоски. Границы между полосками извилистые, но резкие; зоны отделены друг от друга скоплениями бурых глинистых частиц, которые дендридами идут вниз от границы полосок. Мощность отдельных полосок неодинаковая (фиг. 25, 26). В шлифе № 80, сделанном параллельно поверхности отложения, срезающей выступающие розетки, видим сферическую и петельчатую структуру [фиг. 27 (1, 2)].

Округлые сфероиды сменяются удлинёнными и овальными; мелкие, сперва изолированные, объединяются по 2—3 вместе общими зонами, образуя более крупные. Все они тонкослоистые. Некоторые сфероиды двупреломляют полностью, в других случаях двупреломляют только отдельные зоны и, как правило, более загрязненные.

Гейзерит Жемчужного более чист и прозрачен, чем гейзерит Великана. Структура аналогичная [фиг. 28 (1, 2)], он слабо двупреломляет.

\* Относится к анализу I.

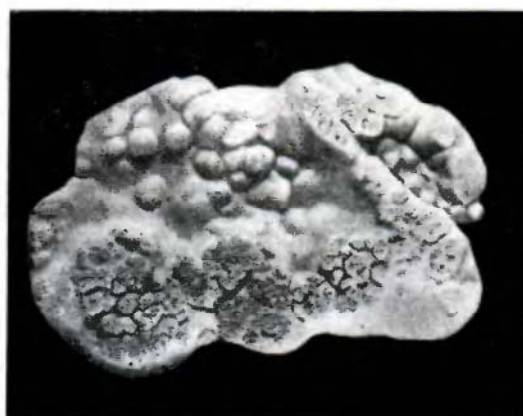


1



2

Фиг. 24 (1, 2). «Колонны» гейзеритов.



Фиг. 25. Образец гейзерита, из которого сделан шлиф.



1



2

Фиг. 26 (1, 2). Структура гейзерита. Шлиф сделан  $\perp$  (1) и  $\parallel$  (2) наслоению.



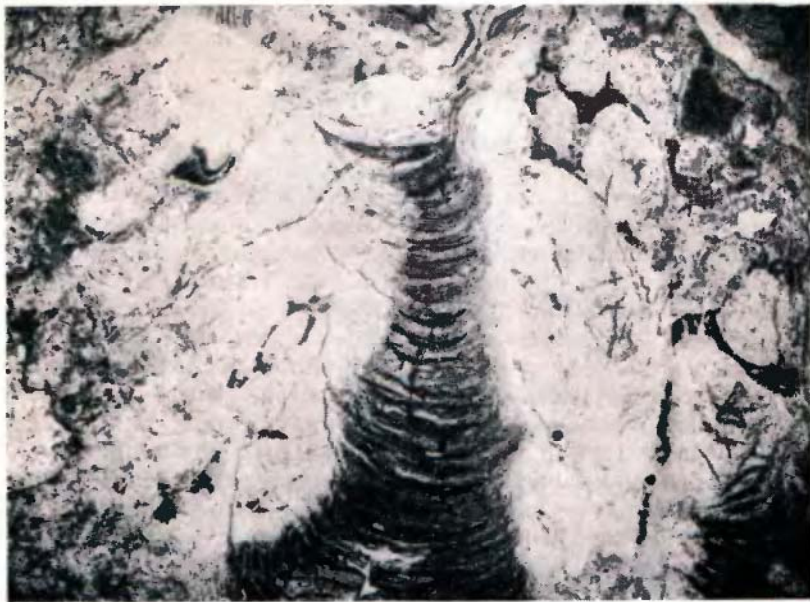
1



2

Фиг. 27. Структура гейзерита Великана. Шлиф сделан  $\parallel$  наслоению.

1. Без анализатора, увел. 45.  
2. Николи скрещены, увел. 45.



1



2

Фиг. 28. Структура гейзерита Жемчужного.

1. Без анализатора, увел. 45.  
2. Николи скрещены, увел. 45.



В отдельных участках по зонам наблюдали червеобразные включения более двупреломляющего минерала.

В некоторых шлифах гейзерит заполняет пустоты и трещинки в туфе. Минералы в породе (плагноклаз и пироксен) не разложены. Гейзерит состоит из опала с колеблющимся преломлением (у Жемчужного — 1,412 до 1,445, у Великана — от 1,412 до 1,424). Такое колебание преломления вызвано, вероятно, неодинаковым содержанием воды в опале. Слабое двупреломление могло быть вызвано напряжением при кристаллизации.

#### VI. ВЫЦВЕТЫ

В районах сольфатар, термальных источников и гейзеров на поверхности, особенно в сухую погоду, мы обнаруживали обильные образования выцветов. Первоначальные породы, лавы и туфы в этих районах полностью разложены и превращены в глины. Сквозь них продолжается пропаривание: глины пропитаны растворами серной кислоты и сернокислых солей. В благоприятных атмосферных условиях соли выкристаллизовываются на поверхности или в виде сплошных пленок, корок, или в виде игольчатых и розеткообразных наростов. Состав их в некоторой степени отражает состав растворов, пропитывающих глины. Во всех трех исследованных нами районах термальных источников — кислых кихпиньчских, слабо кислых верхнегейзерных и даже щелочных натрово-хлоридных гейзерных — на поверхности образовывались сульфаты. Правда, вблизи гейзера Великана на площадках разложенных пород в сульфатных выцветах обнаружены следы хлора, в одном из образцов его содержалось около 4,5%. На площадках вокруг других гейзеров в сульфатных выцветах не обнаружено даже и следов хлора, в то время как воды гейзеров натрово-хлоридные.

В Верхнегейзерном районе образования выцветов были более обильные. Выцветы покрывают поверхность парящих площадок в виде наро-

Таблица 2

Оксиды	Весовые %	Молекулярное количество	Пересчет на минералогический состав				
			Галотрихит	Пинкерингит	Квасцы	Гипс	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O,
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,66	95	57	22	19	—	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нет	—	—	—	—	—	—
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нет	—	—	—	—	—	—
FeO	4,16	57	57	—	—	—	—
MnO	нет	—	—	—	—	—	—
CaO	0,09	2	—	—	—	2	—
MgO	0,88	22	—	22	—	—	—
Na <sub>2</sub> O	1,20	19	—	—	19	—	—
K <sub>2</sub> O	нет	—	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub>	38,07	480	228	88	76	2	81
H <sub>2</sub> O	45,19	2510	1368	528	456	4	154
Cl	нет	—	—	—	—	—	—
Сумма в молекулярных количествах	—	3185	1710	660	570	8	235
Сумма в весовых %	99,25	—	53,7	20,7	17,9	0,3	7,4

стов, розеток и корочек белого цвета, гигроскопичных, растворимых в воде, кислых на вкус.

В табл. 2 приводится химический состав одного из выцветов и пересчет на минералогический состав (анал. Н. Н. Шавровой).

Под микроскопом преобладал волокнистый слабо двупреломляющий минерал с косым по отношению к удлинению погасанием  $N_g=1,477$ . Исходя из химического анализа, мы имеем изоморфную смесь с 72% галотрихита и 28% пиккерингита. В виде небольшой примеси под микроскопом видны гипс и мелкие зерна натровых квасцов с  $N_g=1,459$ .

Результаты пересчета на минералогический состав с учетом оптических определений следующие.

	%		%
Галотрихит . . . . .	53,7	Гипс . . . . .	0,3
Пиккерингит . . . . .	20,7	H <sub>2</sub> O . . . . .	4,9
Квасцы Na . . . . .	18,0	SO <sub>3</sub> . . . . .	2,5

Другие выцветы близки по своему минералогическому и химическому составу к вышеописанному.

В районе гейзеров выцветы образовывались на площадках высохших грязевых луж на верхней террасе, где распространены грязевые котлы и грязевые вулканчики. Выцветы сухие, игольчатые; они покрывали усохшие водоемы сплошным рыхлым снежным покровом. Обычно это были квасцы, под микроскопом изотропные, с  $N=1,460$ . Выцветы образовывались также на парящих площадках, окружающих гейзеры Великан, Фонтан и др. Около Великана выцветы более разнообразны и представлены натрово-калиевыми квасцами (изотропные,  $N=1,460$ ), волокнистыми слабо двупреломляющими ( $N_g=1,477$ ), судя по качественному анализу, галотрихитами и желтыми очень гигроскопичными тонковолокнистыми выцветами с  $N=1,486$ .

Выцветы образовывались в меньших количествах на парящих площадках, расположенных на склонах выше термальных источников и гейзеров, а также на парящих склонах правого берега реки Гейзерной в районах против гейзеров. Чаще всего среди выцветов был белый алуноген, чистый, без примесей, в таблитчатых и в изометрических зернах.

В результате качественного химического и оптического исследования всех собранных образцов определено, что выцветы очень однообразны и состоят из сульфатов Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, алуногена, галотрихита, пиккерингита и натрово-калиевых квасцов.

Ниже приводятся химические анализы выцветов из района гейзеров и для сравнения — из других районов (табл. 3).

Из приведенной таблицы мы видим, что все выцветы состоят из сульфатов породообразующих элементов, входящих в них в разных количествах. В случае образования сульфатов на поверхности еще слабо разложившей лавы (ан. 5) в выцвете количественные отношения окислов близки к токовым в лаве.

На старых сольфатарах породы разложены и превращены в глины из каолинита и галлуазита и гидроокислов железа. В выцветах преобладают алюминий и железо; остальные элементы находятся в меньших количествах, чем в лаве, или совсем отсутствуют.

В районе источников и гейзеров Долины гейзеров и вообще в любом районе источников надо иметь в виду, что выцветы образуются не из вод источников, а из циркулирующих в породах вблизи поверхности более концентрированных газовых и жидких растворов. В Верхнегейзерном районе, где вмещающие породы преобразованы в натроалуниты, а в Гейзерном районе — в галлуазиты, в выцветах преобладают элементы,

входящие в эти породы. Исходя из состава вмещающих пород и выцветов, можно легко установить, что катионы для образования выцветов заимствуются из пород, через которые проникают газовые и жидкие растворы. В разложении пород большую роль играет образующаяся серная кислота, которая и переводит окислы в раствор. Легче всего переходят в раствор Ca, Mg, щелочи, затем алюминий, железо; кремний в раствор почти не переходит и остается на месте, обогащая остаточную породу и даже образуя опаловые скопления. Переход в раствор оснований зависит от кислотности растворов. При высокой кислотности (низкий pH) в раствор переходят все основания, кроме SiO<sub>2</sub>, при более низкой кислотности

Таблица 3

Окислы	Весовые %					
	1	2	3	4	5	6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,94	2,66	6,60	13,83	16,81	7,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нет	нет	2,24	2,91	6,24	3,55
FeO	нет	4,16	0,56	2,42	2,00	5,70
MgO	0,10	0,88	1,08	—	5,19	1,53
CaO	нет	0,09	4,38	—	0,56	2,72
Na <sub>2</sub> O	1,99	1,20	—	—	4,17	0,28
K <sub>2</sub> O	1,09	нет	—	—	0,20	0,07
SO <sub>3</sub>	37,94	38,07	39,0	35,97	34,86	37,17
H <sub>2</sub> O	43,30	45,19	23,98	43,25	27,80	30,44
Cl	4,50	нет	—	—	1,66	нет
SiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	0,74	10,61
TiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	0,11	0,49
Нераств. остаток	—	—	22,81	2,85	—	—

Примечание.

1. Выцвет с термальной площадки около Великана (обр. 36). Анал. Н. Н. Шавровой.
2. Выцвет с термальной площадки в районе Верхнегейзерных источников (обр. 9). Анал. Н. Н. Шавровой.
3. Выцветы с сольфатары Кратерной вершины вулкана Шевелуча. Анал. М. Е. Казаковой.
4. Выцвет с сольфатары побочного купола Каран вулкана Шевелуча. Анал. Л. А. Башариной.
5. Выцвет из взрывного кратера Козей прорыва 1938 г. Ключевской сопки. Анал. В. Некрасовой.
6. Выцвет из Намафьял (Исландия) (Barth, 1950).

железо и алюминий в раствор не переходят и обогащают остаточный продукт, образуя каолиниты, галлуазиты, феррогаллуазиты, гидроокислы железа и алуниты.

Сера отлагается в районе Кихпиничских источников и сероводородных струй. Здесь сера покрывает слоем площадки пород на Белой горе, преобразованных в алуниты, опалы и глинистые минералы. Сама сера чистая и почти не содержит примесей других элементов. В Верхнегейзерном районе сера образует отдельные скопления в разложившейся породе, инкрустирует устья сольфатар, а также покрывает коркой парящие площадки. Сера янтарно-желтая, чистая (спектроскопически в ней почти не обнаружено малых элементов). Образуется сера в результате окисления сероводорода, который в изобилии выделяется вместе с парами воды в районе сольфатар.

## VII. ХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПОРОД

В районе сольфатар, паровых струй, термальных источников и гейзеров породы (кислые лавы и туфы) разложены и превращены в белые и цветные глины. Иногда макроскопически видна реликтовая структура первоначальной породы (лавы или туфа), но и в этих случаях порода полностью разложена. Конечный продукт изменения пород в районе Верхнегейзерных источников и в районе гейзеров различный. В Верхнегейзерном районе, где кислые и слабокислые магнезиально-кальциево-сульфатные воды выходят среди сольфатар (пары воды,  $H_2S$  и  $CO_2$ ) и паровых струй, первоначальные породы превращены в белые и красные тонкоструктурные глинистые массы, содержащие алунит.

Таблица 4

Окислы	Весовые %	Молекулярное количество	Пересчет на минералы			
			Алунит	Галлуазит	Опал	Сера самородная
$SiO_2$	22,33	272	—	186	186	—
$TiO_2$	0,91	11	—	—	—	—
$Al_2O_3$	31,13	306	219	87	—	—
$Fe_2O_3$	1,19	7	—	—	—	—
FeO	нет	—	—	—	—	—
MgO	0,14	3	—	—	—	—
CaO	0,33	5	—	—	—	—
BaO	0,11	—	—	—	—	—
$Na_2O$	3,33	55	73	—	—	—
$K_2O$	4,15	45	—	—	—	—
$H_2O$	10,33	574	438	87	50	—
$P_2O_5$	0,16	—	—	—	—	—
$SO_3$	23,54	294	294	—	—	—
S	2,32	—	—	—	—	—
Весовые % минералов			62	22	14	2

Под микроскопом при большом увеличении среди изотропных частиц встречаются двупреломляющие ромбоэдрические кристаллики алунита.

Из пересчета химического анализа глины было определено, что она состоит из 62% алунита, 22% галлуазита, 14% опала, 2% самородной серы.

Алунит в свою очередь состоит из 55% натроалунита и 45% калиалунита. В табл. 4 приводится химический состав алунитизированной породы.

На кривой нагревания красной глины имеется две эндотермические остановки при  $70-180^\circ$ ,  $500-540^\circ$  и одна экзотермическая остановка при  $870^\circ$ .

В таблице 5 приведены химические анализы измененных пород и для сравнения более близкой к породам долины реки Гейзерной кислой лавы соседнего Семьячкского района. Из этой таблицы мы видим, что по сравнению со свежей лавой в перерожденной породе из района Верхнегейзерных источников имеется недостаток  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , FeO, CaO, MgO и избыток  $Al_2O_3$ , щелочей  $SO_3$ ,  $H_2O$ , S.

В районах Камчатских сольфатар, в частности на Кратерной вершине вулкана Шевелуча, сернокислыми газовыми и жидкими циркулирую-

Таблица 5

Окислы	Весовые %					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	61,64	22,33	40,93	42,10	80,50	68,7
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,91	2,40	0,96	1,80	3,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,84	31,13	26,34	38,04	7,68	10,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,93	1,19	8,36	0,40	0,80	5,2
FeO	2,31	нет	0,06	нет	0,38	0,7
CaO	5,23	0,33	0,65	0,40	1,14	2,7
MgO	2,32	0,14	1,64	0,18	0,29	1,0
BaO	—	0,11	—	—	—	—
Na <sub>2</sub> O	3,66	3,33	} 0,50	} 1,14	1,40	3,0
K <sub>2</sub> O	1,75	4,15			0,26	0,9
H <sub>2</sub> O <sub>-110</sub>	1,52	10,32	8,47	0,98	2,30	3,9
H <sub>2</sub> O <sub>+110</sub>	—	10,02	10,43	12,22	1,70	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,16	—	—	—	0,3
SO <sub>3</sub>	—	23,54	—	3,72	1,30	—
S	—	2,32	—	—	—	—

## Примечание.

1. Лава. Средний состав из 4-х анализов андезитов-дацитов (Влодавец, 1939).
2. Перерожденная порода в районе Верхнегейзерных источников. Анал. Н. Н. Шавровой.
3. Перерожденная порода из района гейзеров. Анал. Н. Н. Шавровой.
4. Перерожденная порода из района мофетты Каран. Вулкан Шевелуч. Анал. М. Е. Казаковой.
5. Перерожденная порода из района сольфатары Кратерной вершины. Вулкан Шевелуч. Анал. Н. Н. Постниковой.
6. Перерожденная порода Хвераранда, Исландия (Barth, 1950).

щими растворами из породы выносятся почти все окислы, кроме кремнекислоты, и остаточный продукт иногда состоит из опалового песка (анал. 5). Аналогичные изменения пород наблюдаются на вулкане Килауэа и других вулканах земного шара. В Верхнегейзерном районе существовали особые условия, при которых щелочи и алюминий не выносились растворами, а осаждались на месте в виде нерастворимой основной сернокислой соли—алунита. Хотя в анализе такой перерожденной породы по сравнению со свежей породой кремнекислоты мало, это не значит, что она вынесена. Среди алунитизированных пород мы видим участки, обогащенные опалом, и даже скопления почти чистого опала, так что здесь происходит перераспределение SiO<sub>2</sub>.

В районе гейзеров и термальных источников с натрово-хлоридной щелочной водой изменение пород не менее интенсивное, чем в Верхнегейзерном районе. Первоначальные породы — кислые туфы — превращены в глинистые породы, состоящие из галлуазита и гидроокислов железа.

Химическое разложение пород, по нашему мнению, произошло не под влиянием щелочных вод (pH=8) гейзеров и источников, которые, вероятно, поднимаются с больших глубин, а под влиянием паров и циркулирующих около поверхности кислых сернокислых вод. Условия в районе гейзеров

близки к условиям на сольфатарах Карана (вулкана Шевелуча). Глины в районе гейзеров пропитаны сернокислыми растворами: в образце голубой глины, взятой с термальной площадки около Великана, определено 9,89%  $SO_4^{''}$  (в водной вытяжке). На поверхности термальных участков около гейзера в хорошую погоду происходило обильное образование выцветов из сульфатов. Глины в районе гейзеров белые, голубые, желтые и красные; химический состав их различный, особенно по содержанию в них железа. Такой непостоянный состав продуктов разложения, вероятно, объясняется не тем, что менялась интенсивность сольфатарной и fumarольной деятельности, как считал Барт (Barth, 1950), в связи с извержениями вулканов, в частности Геклы, а неравномерной концентрацией и кислотностью циркулирующих газовых и жидких растворов, зависящих от условий наличия поверхностных вод, неравномерно насыщающих породы. Это в свою очередь зависит от топографии, различной трещиноватости пород, особенно туфов, и т. д.

В таблице 5 приведен химический анализ одного из образцов голубой глины, взятой с термальной площадки около гейзера Великана (анал. 3). Из сравнения с свежей лавой мы видим, что в измененной породе наблюдается избыток  $Al_2O_3$  и воды. Обращает на себя внимание высокое содержание  $TiO_2$ . Между прочим, обогащение титаном глинистых продуктов на сольфатарах имеет место и в Исландии и в других районах.  $SO_4^{''}$  находится в растворе, пропитывая глины; при изменении концентрации растворов выкристаллизовываются сернокислые соли.

В результате циркуляции газовых и жидких сернокислых растворов происходит перерождение породы с образованием различных продуктов: опала с небольшой примесью глинистых минералов; каолинитов, галлуазитов, гидроокислов железа с примесью опала; алуни-тов с примесью опала и глинистых минералов.

Это, вероятно, объясняется различной кислотностью циркулирующих растворов. Наиболее кислые растворы ведут к выносу всех окислов и образованию остаточного продукта в виде опала. Растворы слабой кислотности, почти нейтральные, приводят к образованию каолинитов, галлуазитов и гидроокислов железа и выносят из первоначальной породы Ca, Mg и щелочи.

Для образования алуни-тов были особые условия, благоприятные для связывания щелочей, алюминия и сернистого ангидрида в основную нерастворимую соль. Каковы эти условия, автору еще не вполне ясно.

Об изменениях, происходящих в нашем районе на глубине, мы не можем судить.

В Йеллоустонском парке и в Исландии бурения в районе термальных источников позволили несколько осветить этот вопрос. Химическое изменение под влиянием щелочных вод исландских базальтов иное, чем йеллоустонских риолитов. В Исландии в измененной породе по сравнению с неизменным базальтом все окислы, кроме  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $Na_2O$ , находятся в тех же количествах. Количество  $Na_2O$ , по Барту (Barth, 1950), увеличилось за счет извлечения его из воды; увеличилось также количество окисного железа за счет окисления закисного. Несмотря на малое изменение химического состава, минералогически порода изменилась полностью; не осталось ни одного первоначального минерала, порода перекристаллизовалась (лабрадор и пироксен перешли в цеолит и хлорит).

В Йеллоустонском парке, по Феннеру (Fenner, 1934), изменение риолитов щелочными водами проявляется в замещении натрия калием в молекулярных пропорциях, так что отношение  $(Na_2O + K_2O + CaO) : Al_2O_3$  остается тем же. Аллен и Дей считают, что исследования Феннера объясняют состав вод источников, в которых Na преобладает над K.

Мы не располагаем материалом бурения, обнажающего глубокие части измененных пород, но и в поверхностных условиях в нашем случае, особенно в районе Верхнегейзерных источников, явно видно повышение количества Na по сравнению с K в источниках и выцветах за счет выноса его из пород, по которым циркулировали воды, и обогащение калием перерожденных пород.

#### VIII. К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ ВОДЫ

Взгляды на то, что вода гейзеров и термальных ключей является магматической, сейчас, я думаю, полностью отпадают. В настоящее время можно ставить вопрос о том, участвует ли в какой-то степени магматическая вода или пар в общем балансе воды гейзеров и термальных источников или вся она метеорная.

Зависимость термальных ключей и гейзеров от атмосферных осадков, высыхание некоторых горячих ключей летом говорит о том, что большая часть воды атмосферного происхождения. Систематические наблюдения в Йеллоустонском парке (Danald, White, Brannock, 1950) показали, что после больших ливней в термальных источниках увеличился дебит, снизилась температура и изменился минеральный состав воды. Влияние ливня на дебит и температуру продолжалось пять дней, а возобновление прежнего минерального состава в воде наступило только через 11 дней.

Все это с несомненностью говорит о метеорном происхождении воды термальных источников. Однако многие авторы, как Аллен и Дэй, Торродсен, Барт и др., считают, что часть воды имеет магматическое происхождение.

Вопрос об участии магматической воды или пара, по нашему мнению, необходимо решать для каждого случая отдельно. Несомненно, есть термальные источники и гейзеры, у которых вся вода инфильтрационная, нагретая или нормальным, или повышенным от наличия вулканического очага температурным градиентом. С другой стороны, есть источники, явно связанные с сольфатарами на склонах или в кратерах действующих вулканов, у которых часть воды вулканического происхождения. Наконец, есть источники, не связанные непосредственно с сольфатарами и мофеттами, но их минеральный и газовый состав позволяет предполагать, что часть воды в них вулканического происхождения.

В самом деле, если в термальных источниках, особенно в области современного вулканизма, в частности с сольфатарным проявлением, присутствуют вулканические газы —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , то должна присутствовать и вода, которая в виде пара поднималась бы вместе с другими газами из застывающего на глубине вулканического тела. Пары воды, как мы знаем из наблюдений над извержениями камчатских вулканов, и в пароксизм, и при остывании новых вулканических тел — конусов, куполов и лавовых потоков всегда составляют преобладающую часть в газовой смеси.

Почему же, если в термальном источнике присутствуют вулканические газы, не будет присутствовать вулканическая вода? Здесь не разбирается вопрос, как в магму попала вода и есть ли вообще ювенильные воды. Факт остается неоспоримым, что вода присутствует в магме и выделяется из нее во время извержения и в процессе кристаллизации лавы. Химику Иванову (1940) удалось взять из изливающейся из побочного кратера Ключевской сопки Билукая расплавленной лавы пробу газа, в которой преобладали пары воды (1000 мг на литр газа). Обычно вместе с парами воды, только в несравнимо меньших количествах, присутствуют  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ . Пары воды определялись автором и другими исследователями во всех пробах газа, взятых из кратеров и лавовых потоков Ключевского вулкана. Особенно большое количество паров

воды выделяется в сольфатарах и мофеттах вместе с  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$  и другими газами на кудолах Кратерной вершины и Карана (вулкан Шевелуч). Правда, в сольфатарах и мофеттах часть воды может быть уже атмосферной.

Поднимающиеся пары воды совместно с  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $H_2$  в местах, лишенных грунтовых вод, выходят на поверхность в виде газовых растворов — фумарол, сольфатар и паровых струй. Там, где струи проходят через горизонт грунтовых вод, получают грязевые котлы, грязевые вулканчики, колодцы, лужи и кислые источники.

Вопрос о том, какая часть воды в источниках представляет конденсированный вулканический пар, является тоже очень трудным. Из наблюдений над выделениями первичных и вторичных фумарол, а также сольфатар мы видим, что вулканические эксгаляции почти всегда кислые. Поэтому естественно, чем ниже рН в источниках, тем больше в них вулканической воды и они менее загрязнены и были подвержены всяким реакциям с вмещающими породами. В гейзерах, имеющих большой постоянный дебит, обусловленный метеорным питанием, безусловно конденсированные вулканические пары настолько теряются в большой массе вод метеорного происхождения, что влияние вулканических эксгаляций в них может почти не проявляться, хотя оно и есть.

Одним из методов, который позволил бы определить, в какой степени было участие вулканической воды в термальных источниках, может быть измерение изотопов кислорода и водорода.

Р. В. Тейс на масспектрографе определила состав воды из гейзера Великана. По отношению к московскому речному стандарту в воде гейзера оказалось: суммарная плотность = +2,6 γ, D = +7,6 γ,  $O_{18}$  = - 5 γ.

#### IX. К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКЕ ГАЗОВОГО И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ВОД ГЕЙЗЕРОВ И ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В районе гейзеров на некоторой глубине застывает магма. Это подтверждает относительно недавно происшедшее извержение Кихпиныча с образованием конуса Савича, сопровождавшееся излиянием лавовых потоков андезитового состава. В настоящее время в кратере Савича еще находятся фумаролы с температурой около 100°, а у подножия Кихпиныча сосредоточены сольфатары с обильным выделением в газовой фазе наравне с парами воды,  $H_2S$  и  $CO_2$ . Безусловно, фумарольная и сольфатарная деятельность в этом районе есть следствие кристаллизации на глубине магмы.

В процессе кристаллизации остаточная магматическая жидкость обогащается летучими компонентами, и когда напряжение газов будет выше, чем давление вышележащих пород, остаточная магматическая жидкость начнет их выделять. Многокомпонентная газовая фаза, вероятно, очень сложная, и до сих пор нет уверенности, что кто-нибудь правильно определил ее первоначальный состав. Даже во время извержений, уже при подъеме магмы к дневной поверхности, летучие компоненты теряются, реагируют с вмещающими породами; с одной стороны, магма отдает летучие компоненты, с другой — заимствует часть их; кроме того, они реагируют между собой. Отсюда газы, выделяющиеся во время извержения вулкана и в процессе остывания лавовых масс, попавших на земную поверхность, отличаются от первоначального магматического газа, однако они все же наиболее близки к ним. Еще больше изменяется состав газовой фазы, если оставшаяся после извержения магма кристаллизуется на некоторой глубине. Газы, покидая магму, следуют через толщу пород, часто насыщенную грунтовыми водами и, конечно, реагируют с ними



и поглощаются последними. Поэтому состав газовой фазы сольфатар, а тем более термальных источников еще в меньшей степени отражает магматические газы.

Состав вулканических газов Камчатки может быть частично освещен в результате изучения фумарольной деятельности вулканов Ключевская сопка, Шивелуч, Авача, Узон и др.

Наиболее изучен Ключевской вулкан. Здесь мы только укажем на некоторые особенности состава газов.

Состав газов фумарол на Ключевском вулкане резко различается в случае, когда магма попадает на земную поверхность и газы выделяются непосредственно из нее, от того случая, когда она не попадает на земную поверхность, а кристаллизуется на глубине и газы выделяются по трещинам.

Разберем здесь три случая.

#### 1. Магма попадает на земную поверхность.

Из лавы, излившейся из вершинного кратера Ключевской сопки во время извержения 1937 г. и особенно во время прорывов на склонах вулкана побочных кратеров, изливших лавовые потоки (1931—1932 гг. — Туйла, Биокось, Киргурич; 1938 г. — Билукай, Тиранус, Третий; 1945 г. — кратер Заварицкого; 1946 г. — Апахончич), среди газов фумарол как на шлаковых конусах, так и лавовых потоках присутствовали в большом количестве Cl и F, что следовало из анализа газов и обильного образования возгонов — хлоридов (галит, сильвин, нашатырь) и фторидов.

Во время извержения 1946—1948 гг. вулкана Шивелуча в выделяющихся газах из формирующегося на земной поверхности андезитового купола присутствовал хлор. Правда, газы группы серы значительно преобладали над ним.

#### 2. Магма не дошла до поверхности.

Во время упомянутого выше прорыва на склонах Ключевской сопки побочных кратеров в 1938 и 1945 гг. одновременно образовались эксплозивные кратеры (в 1938 г. — Козей, в 1945 г. — Обручева, Комарова, Левинсон-Лессинга и др.). При образовании их не произошло излияния лавы; взрывом были выброшены в основном старые породы. Газы выделялись из трещин на дне и в стенках кратера. Среди паров воды преобладали, а в некоторых случаях почти исключительно были газы группы серы и углерода.

В 1938 и 1945 гг. извержение кратеров, изливающих лаву, и эксплозивных кратеров происходило одновременно; они находились рядом, очаг у них был один, но состав газовой смеси был разный. В первом случае газы выделялись непосредственно из магмы, которая была во время извержения перенесена на поверхность, во втором случае магма осталась на глубине, и газы поднимались по трещинам через толщу пород, претерпевшая наибольшие изменения.

3. Между извержениями и в период затухающей стадии вулкана оставшаяся на глубине магма в процессе кристаллизации выделяла газы. Газы следовали по трещинам в кровле или же в теле уже застывшей вулканической постройки и выделялись на поверхности в виде сольфатар. Как правило, в этих случаях газы тоже относятся к группе серы ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ) и углерода (в особенности  $CO_2$ ) и близки к газам, выделяющимся в описанных выше эксплозивных кратерах. В вершинном кратере Ключевского вулкана в 1948 и 1951 гг. между извержениями в фумаролах присутствовали газы только группы серы и углерода, во время же извержения 1937 г. в фумаролах на излившейся из кратера лавы присутствовал HCl. На старых куполах Шивелуча — Кратерной вершине и Каране — в 1946—1948 гг. среди преобладающих паров воды находились газы только группы серы и углерода.

Можно ли сказать, что отсутствие в некоторых эксгаляциях газов группы хлора говорит всегда о том, что кристаллизующаяся на глубине магма его не выделяет? Отсутствие хлора в эксгаляциях взрывчатых кратеров, когда рядом и в то же самое время в кратерах, изливших лавовые потоки, он присутствовал в изобилии, говорит об обратном. Излившиеся на дневную поверхность лавовые потоки небольшой мощности (до 15 м) и шлаковые конусы большей мощности (до 100 м) длительное время в процессе своего остывания выделяют газы, среди которых преобладают хлор и фтор. Так, на Туйле даже спустя десяток лет в эксгаляциях был определен Cl. На лавовых потоках Билюкая и Заварицкого напатырь образовывался в течение 2—3 лет после излияния потоков. Тем более большая масса магмы, оставшаяся на глубине после извержения, должна выделять хлор длительное время, но он, вероятно, расходуется на реакции во время подъема газовых эманаций через толщу пород, а газы группы серы и углерода выходят на поверхность.

Отсутствие или малое количество хлора в эксгаляциях старых затухающих вулканов объясняется и тем, что хлор как более летучий выделяется в первую стадию, а газы группы серы — в более позднюю стадию. Даже при наблюдениях за состоянием остывающих шлаковых конусов и лавовых потоков Ключевского вулкана нам удавалось обнаружить в фумаролах в раннюю стадию их жизни в кислой части газовой смеси преобладание хлора, а в более поздней стадии он сменился газами группы серы и образовавшимися сульфатами.

Когда район богат грунтовыми водами, выделяющиеся из магмы пары воды и кислые газы поглощаются ими, и на дневной поверхности проявляются в грязевых котлах, грязевых вулканчиках и кислых сульфатных водах термальных источников. На примере действующих вулканов мы знаем, что фумаролы и сольфатары имеют в большинстве своем кислую реакцию и, как правило, источники, связанные с сольфатарами, имеют тоже низкое значение pH.

В нашем районе кислые источники, связанные с сольфатарами, имеются в кальдере Узона, на Большом Семячке и у подножия Кихпинча. Все источники сульфатные, и в районе местонахождения их наблюдается выделение вулканических газов ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ). Эти источники можно считать более всего отражающими вулканические эксгаляции.

При условии более глубокой и длительной циркуляции вод кислый состав их может измениться в результате реакций с вмещающими породами, и вода может стать менее кислой.

Генетическое развитие источников от кислых к щелочным уже неоднократно отмечалось в литературе. Бунзен обнаружил это явление в Исландии. В правильности своего предположения он убедился после того, как нагревал воду кислого источника вместе с порошком породы из этого района в течение нескольких часов внутри запаянной трубки при  $100^\circ C$ . Раствор стал щелочным вследствие образования гидроксида Na и K; Fe и Al выпали из раствора.

Барт (Barth, 1950) привел ряд примеров генетической связи кислых и щелочных источников в Исландии. Современная вулканическая деятельность на одном из таких участков, по Барту, проявилась в виде частых неглубоко фокусных землетрясений и экструзий лавы в историческое время. В 1937 г. было произведено около 300 анализов воды, и оказалось, что колебания pH были весьма закономерны. Источники, в которых pH меньше 5, связаны с вулканической зоной. С увеличением расстояния от этой зоны значение pH возрастает и достигает максимума в самых отдаленных источниках (до 9).

Барт на материале Исландии установил два правила.

1. Чем больше примеси в источниках метеорной воды, тем выше в них рН. Содержание азота в источниках колеблется вместе с рН.

2. Чем выше рН в воде горячих источников, тем выше в них и содержание азота.

Среди газов, выделяющихся в районе исследованных нами источников, определено  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ ;  $\text{HCl}$  не был встречен. В районе кислых Кихпиньчских и Верхнегейзерных источников выделяются  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ . Азот, присутствующий в водах гейзеров, вероятно, атмосферного происхождения. Воздух вносится в термальные источники атмосферными водами и выделяется из них, когда нагретые воды попадают снова на поверхность. Кислород расходуется в реакциях и в зависимости от случайных явлений может присутствовать в больших или меньших количествах.

Некоторые вулканологи считают, что азот является абиссальным газом и отношение  $\text{Ar} : (\text{Ar} + \text{N})$  в пробах вулканических газов более высокое, чем в воздухе; с другой стороны, в газах из источников Исландии (Barth, 1950) соотношение инертных газов такое же, как и в воздухе. Мы не предполагаем каким-либо новым химическим материалом, но все наблюдения говорят в пользу того, что и в fumarолах, и в сольфатарах, и тем более в водах источников азот атмосферного происхождения. Здесь было бы весьма интересно изучение изотопического состава азота.

Ниже приводятся соображения по поводу источника некоторых веществ, растворенных в водах термальных источников.

**Сульфаты.** Сульфаты присутствуют в водах всех термальных источников и гейзеров долины. Наиболее обогащены сульфатами воды Кихпиньчских кислых источников (600 частей на 1 млн.), в меньшей степени — слабокислые Верхнегейзерные источники (125 частей на 1 млн.) и щелочные воды гейзеров (113 частей на 1 млн.).

Сульфаты в термальных ключах, вероятно, вулканического происхождения. Мы знаем, что газам группы серы в эксгаляциях вулканов принадлежит ведущая роль. Во время извержения и, особенно, в периоды между извержениями, в сольфатарную стадию, в эксгаляциях вместе с парами воды присутствуют  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$ . Серные эксгаляции частично переходят непосредственно в воздух, частично реагируют с кислородом воздуха и осаждаются в виде самородной серы. Иногда количества ее таковы, что образуются целые месторождения. Часть газов окисляется до серной кислоты и пропитывает почву и породы в районе сольфатар. Так, для нас оказалось совершенно неожиданным, что около гейзера Великана с щелочной натрово-хлоридной водой разложенные породы пропитаны серной кислотой и сульфатами (в водной вытяжке 9,8%  $\text{SO}_4$ ). Наличие свободной серной кислоты подтвердилось тем, что бумага, на которую был положен образец глины, обуглилась и разрушилась.

Грунтовые воды, циркулирующие в районе сольфатар (верхнегейзерные источники), а также в породах, пропитанных сульфатами и серной кислотой (гейзеры), обогащаются  $\text{SO}_4$ .

**Хлор.** Хлор присутствует в очень малых количествах в водах кислых Кихпиньчских источников (14 частей на 1 млн.), в Верхнегейзерных источниках с рН=5,7—6,2 (10 частей на 1 млн.) и в очень больших количествах в водах щелочных источников и гейзеров с рН=8—8,7 (838 частей на 1 млн.). Такие же соотношения имеются и в других районах Камчатки, в Исландии и Новой Зеландии.

В газах источников хлор не был обнаружен.

Происхождение хлора в термальных источниках для нас неясно, хотя мы и были всегда свидетелями того, что эксгаляции вулканов, особенно во время извержения, когда изливается лава, содержат газы группы

галоидов — хлор, фтор (Набоко, 1947). Хлор легче покидает магму в соединении с водородом, однако и металлы, особенно щелочи, выносятся из нее в виде газовых растворов. Мы наблюдали на стенках раскаленных трещин лавовых надкратерных нагромождений и лавовых потоков прорыва 1938 и 1945 гг. Ключевской сопки образования галита (NaCl) и сильвина (KCl). В процессе остывания и кристаллизации лавы хлор ее постепенно покидал и присутствовал в эксгаляциях десять лет спустя после излияния лавы (на Туйле). Часть хлора после окончательного остывания лавы задерживается в ней; так, в лаве Билукая после двух лет хранения было определено 0,023% Cl. Если такие относительно маломощные потоки и скопления шлака выделяют HCl в течение нескольких лет, то оставшаяся на глубине магма в процессе ее кристаллизации должна была бы выделять его в несравненно больших количествах и в течение более длительного времени.

Циркулирующие вблизи застывающего массива грунтовые воды должны были бы обогащаться хлором.

Таким образом, хлоридно-натриевый состав вод термальных источников в районе действующих вулканов, где на глубине кристаллизуется магма, возгоняющая HCl и хлориды металлов, особенно щелочей, мог бы быть объяснен влиянием вулканических эксгаляций, и хлор мог бы попасть в воду или путем растворения его глубоко циркулирующими грунтовыми водами, или же путем вымывания хлора из кровли вулканического очага. Однако и для таких районов вопрос остается нерешенным.

Основным возражением против вулканического происхождения хлора может быть то, что в кислых источниках, явно связанных с вулканической деятельностью — с сольфатарами, хлор присутствует в очень малых количествах и, наоборот, присутствует в больших количествах в щелочных источниках, более удаленных от действующих вулканов и характеризующихся большим дебитом. Кроме того, хлоридно-натриевые воды имеют широкое распространение в районах, не связанных с современным проявлением вулканизма.

Барт пытался объяснить появление хлора в источниках, более удаленных от вулканического очага, следующим образом.

Ввиду низкой точки кипения HCl и HCO<sub>3</sub> при смешивании их с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при высокой температуре они быстро улетучиваются, и в кислых источниках остается только H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Как только ионы Cl и карбонатного радикала магматических газов поступают в поднимающуюся вверх горячую воду источников, они перегоняются в воду горячих источников более поздних этапов, имеющих более щелочную реакцию и способных удерживать эти ионы.

Прекрасно понимая возможность приписать хлору вулканическое происхождение, для вод гейзеров мы этого сделать не можем. Впечатление такое, что воды большого дебита уже сложившегося определенного минерального состава (натрово-хлоридные) поднимались, возможно, из больших глубин и, попав в сольфаторное поле, частично обогатились сульфатами. Однако это не значит, что во всех случаях происхождение хлора в термальных водах всегда не вулканическое.

**К а р б о н а т ы.** Карбонаты, как и хлориды, отсутствуют в кислых Кихпиньчских источниках, присутствуют в слабо кислых Верхнегейзерных (116 частей на 1 млн.) и больше всего их в щелочных водах гейзеров (гидрокарбонат — 810 частей на 1 млн., карбонат — 384 части на 1 млн.). Это очень характерно не только для описанного нами района, но и для других районов Камчатки. Происхождение карбонатов в водах, так же как и хлора, неясно. Газы группы углерода (CO<sub>2</sub>, CO) сопровождают извержения вулканов, и особенно большие количества их выделяются в сольфатарную и мофеттную стадии. На куполах Кратерной

вершины и на Каране вулкана Шивелуча  $\text{CO}_2$  составляет основной компонент кислой газовой части. В природе известны даже чистые углекислые струи. Газы термальных источников, связанных с сольфатарной деятельностью вулканов, содержат  $\text{CO}_2$ , который имеет здесь, вероятно, вулканическое происхождение. Однако много данных говорит и за то, что карбонаты попадают в воды источников в результате взаимодействия вод и пород, в которых они формируются.

**Б р о м.** Бром определен в воде гейзера Великана (0,0013 г на литр) и в воде Верхнегейзерных источников (0,00003 г на литр). В кислых Кихпиничских источниках бром не обнаружен. Здесь интересно отношение  $\text{Cl} : \text{Br}$ . Как показали работы А. П. Виноградова, в морской воде это отношение около 300, а в воде гейзера Великана приближается к этому коэффициенту и редко вдвое больше — 660. Работы А. С. Селиванова (1947) на материалах возгонов Ключевского вулкана явно показали, что отношение  $\text{Cl} : \text{Br}$  для большинства возгонов, особенно продуктов прямого возгона (хлоридов), т. е. таких, которые осаждались непосредственно из газового раствора фумаролы, значительно выше — от 500 до 10 000 и более. Слабо повышенное отношение  $\text{Cl} : \text{Br}$  в водах гейзеров не говорит в пользу вулканического происхождения хлора.

**М ы ш ь я к.** Мышьяк является тем элементом, который придает камчатским термальным водам провинциальную особенность. По нашим данным, мышьяк присутствует в водах следующих источников: Киреунских, Двухъярточных, Узонских, Жировских, Налачевских, Гейзерных, Апальских, Оксинских, Северо-Кошелевских, Верхне-Семячичских и Кихпиничских, а также, по Пийпу, Паужетских, В. Паратунских, М. Банных, Начикинских, Малкиевских и, вероятно, других. В источниках, связанных с сольфатарами, количество мышьяка повышенное и на Узоне достигает 40 мг на литр (Пийп, 1937).

В газах фумарол и сольфатар Шивелуча и Авачи мышьяк присутствует. Вероятно, мышьяк в водах камчатских источников вулканического происхождения.

**К а т и о н ы.** Источником большинства катионов в водах термальных ключей являются вмещающие породы, в которых формировались и через которые циркулировали воды. Кислые воды, особенно сернокислые растворы, извлекают окислы наиболее эффективно. Удержание тех или иных катионов в водах термальных источников обуславливается кислотностью воды и частично температурой. При изменении кислотности вод некоторые элементы выпадают из нее в виде гидроокисей.

Малые элементы, вероятно, в большей своей части попали в воду тоже из окружающих пород, в которых циркулировали воды, и удерживаются в ней в зависимости от кислотности и температуры воды.

**К р е м н и й.** Кремний является наиболее характерным элементом для щелочных вод гейзеров, однако в меньших количествах он содержится и в водах других источников. Из вод гейзеров около грифона и вокруг иногда отлагаются мощные толщи гейзеритов, состоящих на 90% из  $\text{SiO}_2$ .

Известно, что  $\text{SiO}_2$  растворяется щелочами, а поэтому и неудивительно, что щелочные воды обогащены им. Разложению пород и переводу кремния в растворимое состояние может способствовать находящаяся в воде углекислота, которая на глубине довольно активна. То, что именно в водах гейзеров растворено больше всего кремния, объясняется еще и тем, что эти воды, являясь щелочными, обладают и наиболее высокой температурой (перегретые воды).

В районах сольфатар и очень кислых источников при разложении пород в раствор переходят все основания, а кремний, наоборот, отличается наибольшей устойчивостью и остается на месте, образуя скопление опала.

**А л ю м и н и й.** Алюминий присутствует только в кислых водах ( $pH=2,15$ ) Кихпиничских источников (42 части на 1 млн.) и совсем не обнаружен в водах Верхнегейзерных источников ( $pH$  выше 5) и щелочных гейзерных водах. Это согласуется с высказанным выше, что алюминий может присутствовать в водах с  $pH$  не выше 5 и должен выпадать при нейтрализации вод. Обогащение алюминием разложенных пород в некоторых участках в Верхнегейзерном районе могло произойти в результате такой нейтрализации воды. Вокруг щелочных источников разложенные породы пропитаны кислыми сульфатными растворами алюминия, о чем говорят обильные образования алуногена.

**Ж е л е з о.** Железо, так же как и алюминий, присутствует только в кислых кихпиничских водах (80 частей на 1 млн.) и совсем не обнаружено в водах Верхнегейзерных слабокислых источников и гейзерных щелочных водах. Это понятно, поскольку железо выпадает в щелочной среде и виде гидрооксида.

**К а л ь ц и й и м а г н и й.** Кальций и магний присутствуют в сульфатных кислых кихпиничских, слабокислых верхнегейзерных и натрово-хлоридных щелочных гейзерных водах. В связи с большей минерализацией последних абсолютные количества Са и Mg в них приближаются к двум первым водам, но составляют в них малый процент, в то время как в верхнегейзерных водах они преобладают среди катионов и придают слабо кислой воде источников сульфатный кальциево-магнезиальный характер. Судя по составу измененных пород в этом районе, можно предполагать, что Са и Mg полностью вынесены растворами из лавы.

**Щ е л о ч и.** Щелочи являются преобладающими катионами в водах кислых Кихпиничских источников, придавая им натрово-сульфатный характер, и в щелочных гейзерных водах, придавая им натрово-хлоридный характер. В верхнегейзерных слабокислых ( $pH=5,7-6,2$ ) кальциево-магнезиально-сульфатных водах щелочи составляют незначительный процент (Na — 6,5%, K — 1,4%). В последнем случае щелочи из пород не переходят в раствор, а связываются в основную серноокислую соль — алунит, которая и образует здесь скопления.

Отношение Na : K в различных продуктах фузарольной, сольфатарной и гидротермальной деятельности различно и отличается от отношения их в исходном материале (магме, лаве, породе).

1. В продуктах прямого возгона газов группы серы, образующихся на поверхности раскаленных трещин на формирующихся лавовых массах, поднятых на дневную поверхность во время извержения, отношение Na : K значительно больше, чем в лаве, из которой они возгоняются. На Шевелуче в таком возгоне Na : K = 20 : 1, в лаве же — 3 : 1.

2. При образовании продуктов прямого возгона газов группы хлора Na и K возгоняются в той же пропорции, в какой они находятся в лаве.

На Ключевской сопке в галоидах отношение Na : K такое же, как и в лавах (3 : 1).

3. В сольфатарах в продуктах взаимодействия газовых и жидких растворов со старой лавой в образующихся выцветках соотношение Na и K остается таким же, что и в первоначальной породе, т. е. при разложении ее Na и K переходят в раствор в одинаковой степени.

4. В водах термальных источников, как правило, отношение Na к K повышенное. В кихпиничских водах Na : K = 27 : 1, в водах гейзеров — 6—10 : 1, т. е. в воды источников Na из окружающих пород при их разложении переходит в большей степени, чем K.

5. В алунитах, образующихся в районе Верхнегейзерных источников, отношение Na : K меньше, чем в первоначальных камчатских породах, а именно 1 : 1. Обогащение алунита калием имеет место и на вулканах Кихпинич, Зимина и Ключевской сопке.

В водах района распространения алунитов (Верхнегейзерные источники) щелочей очень мало, они слабо переходят в раствор, причем Na в воды переходит сильнее, чем K. В выцветах на площадке алунитизированных пород, отражающих состав циркулирующих сольфатарных растворов, присутствует только Na.

Таким образом, калий концентрируется в процессе алунитизации, возможно, за счет более сильного выноса натрия растворами.

Как видим, во всех случаях Na выносятся из породы газовыми и жидкими растворами или в большей степени, чем K, или, в крайнем случае, в той же пропорции, в какой Na и K находятся в первоначальной породе.

На примере Верхнегейзерных источников явно видна связь минерального состава воды с составом вмещающих пород, по которым они циркулировали. Ниже приводится таблица 6, которая иллюстрирует эту связь. Химические анализы пересчитаны на относительные количества Al, Fe<sup>+++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Ca, Mg, Na и K, сумма которых приведена к 100%.

Таблица 6

Состав	Весовые %						
	Al	Fe <sup>+++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Ca	Mg	Na	K
Вмещающая неизменная порода . .	46	11	7	15	7	10	4
Вода . . . . .	—	—	—	45	52	3	—
Изменная порода . . . . .	77	3	—	1	—	9	10
Выцвет . . . . .	60	—	25	1	6	8	—

В результате взаимодействия кислых сульфатных вод с породой из последней переходят в раствор Ca, Mg и частично Na, и образуются магнезиально-кальциевые сульфатные воды. В породе не остается Ca и Mg; она обогащается алюминием и щелочами и преобразуется в алуниты. За счет частичного выноса натрия в раствор, алуниты обогащаются калием. Остаточный продукт обогащается железом, хотя его в этом образце измененной породы и нет. Мы видим рядом яркочерные и темно-бурые глины.

Состав выцвета характеризует состав сульфатных растворов, пропитывающих уже разложенные алунитизированные породы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Открытые Т. И. Устиновой в 1941 г. гейзеры в долине р. Гейзерной на Камчатке по интенсивности и величине извержений мало чем уступают известным гейзерам Исландии, Новой Зеландии и Йеллоустонского парка. В долине р. Гейзерной среди множества термальных ключей и паровых струй сосредоточено свыше 20 активных гейзеров. Район Долины Гейзеров сложен комплексом вулканогенных пород постплиоценового возраста, состоящим из андезитов и дацитов, чередующихся с туфами от пепловых до более грубых дацитового и дацито-риолитового состава. Мощность толщи до 500 м. Особенностью района гейзеров является проявление современного вулканизма, выраженного здесь в интенсивной сольфатарной деятельности на вулканах Узон, Большой и Малый Семячик и Кихпинич. Ближе всего к гейзерам расположен вулкан Кихпинич: в кратере самого молодого его конуса Савича до сих пор имеются фумаролы с температурой около 100°. Сольфатары сосредоточены в долине р. Гейзерной. В верховьях реки у самого подножия Кихпинича выделяется сероводород и вытекают термальные ключи с кислой сульфатно-

натриевой водой, в среднем течении реки — сольфатары и высокотермальные ключи с слабо кислыми магниевыми-кальциевыми-сульфатными водами и, наконец, в нижнем течении среди термальных источников, грязевых котлов и сольфатар — гейзеры с щелочной хлоридно-натриевой водой.

Гейзеры весьма разнообразны по своему режиму. Они различаются по характеру выхода грифона (на поверхность, в яму, в водоем), по характеру функционирования — с длительным циклом — до 5 часов (Жемчужный) и коротким — 2,5 мин. (гейзер-яма), с полным (Малый) и неполным (Фонтан) циклом, регулярные (большинство) и нерегулярные (Непостоянный, Новый Фонтан), с короткой по отношению ко всему циклу фазой извержения (большинство гейзеров) и с длительным извержением и коротким покоем (Новый Фонтан), с медленно развивающимся (Большой) и с быстро развивающимся извержением (Жемчужный и др.), с большой фазой пара (Великан) и малой (Многоструйный). Наряду с таким разнообразием гейзеров каждый из них в отдельности имеет определенный свойственный только ему режим.

Большинство гейзеров на земном шаре действует нерегулярно, и только деятельность некоторых из них подчинена более или менее точному режиму. Из камчатских гейзеров Непостоянный и Новый Фонтан действуют нерегулярно, остальные — с точностью 20—40% (в коротком десятидневном интервале наблюдений). С течением времени режим гейзеров меняется. Например, у Фонтана за 10 лет цикл удлинился почти вдвое, у Первенца — немного меньше, чем вдвое.

Однако по сравнению с другими гейзерами земного шара камчатские гейзеры наиболее регулярны.

Механизм действия гейзеров, вероятно, весьма сложный. Автор не претендует на создание новой теории механизма гейзеров, поскольку наблюдения над режимом их были кратковременные, и только высказывает свое мнение в объяснении некоторых моментов деятельности гейзеров.

Для существования гейзеров требуются определенные гидрогеологические условия, в частности наличие глубоких открытых каналов, по которым нагретые и перегретые воды имели бы быстрый доступ к поверхности. Для объяснения извержений гейзеров Камчатки нет надобности привлекать существование больших подземных камер, так как извержения большинства гейзеров кратковременные (в мин.), и объем воды, выбрасываемой при каждом извержении, только немного превышает объем грифона, и, следовательно, в извержение вовлекаются неглубокие части системы. Причину извержения гейзеров можно видеть в подъеме высоконагретых (выше 100°) вод к земной поверхности, которые в определенных условиях становятся перегретыми. Эти условия создаются вследствие уменьшения давления при подъеме воды и отчасти за счет бурного выделения пузырьков газа, в результате чего получается колонна воды, насыщенная пузырьками газа, естественно, меньшего удельного веса. Образованию и прочности пузырьков способствует присутствие в воде электролитов и коллоидных веществ, с одной стороны, и растворимых в воде газов — с другой. В том месте, где вода становится перегретой, происходит взрыв. Водопаровая смесь объема столба выше места взрыва выбрасывается вверх. Дальнейшее извержение развивается за счет втягивания в канал гейзера поднимающейся воды с более глубоких частей гейзерной системы. Извержение заканчивается бурным выделением пара — это поднимающиеся малые количества перегретых вод полностью переходят в пар. Чтобы извержение прекратилось, необходим достаточный приток мало-нагретых вод, чтобы они «потушили» парообразование, иначе оно было бы непрерывным. У гейзеров с вертикальным каналом, например, у Фонтана и Нового Фонтана, падающая назад в грифон охлажденная вода во время фонтанирования дополнительно влияет на ход извержения,



в результате чего могут выпадать некоторые фазы и стадии. Причина разнообразия поведения гейзеров заключается в несовпадении условий: может быть различным дебит высоконагретых и малонагретых вод. В случае слабого притока малонагретых вод фонтанирование водой должно смениться фонтанированием пара, в случае достаточного притока извержение заканчивается быстрее.

Строение гейзерной системы — объем грифона, направление канала и т. д. — тоже весьма влияет на характер цикла.

По нашему мнению, для существования гейзеров необходимы следующие условия.

1. Проявление в районе современного вулканизма или наличие на глубине кристаллизующейся магмы, создающие высокие температурные условия, необходимые для перегрева воды и, с другой стороны, влияющие на состав вод (особенно содержание газов).

2. Наличие вертикальных или наклонных открытых трещин, по которым высоконагретые воды могли бы быстро попадать на поверхность.

3. Для осуществления периодичности в действии гейзеров необходим приток в гейзерные системы менее нагретых вод.

4. Для регулярных гейзеров необходим относительно постоянный дебит высоконагретых и малонагретых вод.

Источником тепла для гейзеров исследованного района является залегающая на некоторой глубине кристаллизующаяся магма. Проявлением ее на поверхности мы считаем фумаролы в кратере Савича и сольфатары у подножия Кихпивыча с температурой до  $127^{\circ}$ .

Вода гейзеров и термальных источников преимущественно метеорная, нагретая вулканическим теплом. Однако часть воды, вероятно, представляет конденсированный вулканический пар, выделяющийся при кристаллизации магмы как преобладающий компонент газовой смеси совместно с  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ , соединениями В и As и другими вулканическими газами.

Наиболее резко вулканические эксгаляции сказываются на составе вод источников среди сольфатар в кратерах, кальдерах, на склонах и у подножия действующих вулканов. Когда район богат грунтовыми водами, выделяющиеся из магмы пары воды и кислые газы поглощаются ими, и на дневной поверхности проявляются в грязевых котлах, грязевых вулканчиках и кислых сульфатных водах. При условии более глубокой циркуляции кислый состав вод может измениться в результате реакций с вмещающими породами.

Источником минерального состава вод являются частично вулканические эксгаляции ( $SO_4$ ,  $CO_3$ , В, As, часть  $H_2O$ ) и в большей степени вмещающие породы, в которых формируются воды (катионы как породобразующие, так и малые, возможно, Cl и гидрокарбонаты). Удерживание тех или иных катионов в термальных водах обуславливается кислотностью воды и частично ее температурой.

На примере Верхнегейзерных источников явно видна связь минерального состава воды с вмещающими породами. В результате взаимодействия сернокислых вод с лавами и туфами из пород в раствор переходят кальций, магний, частично натрий, и образуются магнево-кальциево-сульфатные воды. В породе же не остается кальция и магния, и она соответственно обогащается кремнием, алюминием, железом и за счет частичного выноса натрия — калием. В результате циркуляции кислых вод и обогащения их минеральным составом за счет состава пород последние перерождаются в глинистые массы.

Изменение пород зависит от кислотности циркулирующих растворов. Наиболее кислые сернокислые растворы выносят все катионы, кроме кремния, и на месте остаются опаловые скопления; растворы слабой кис-

лотности, почти нейтральные, приводят к образованию глин из каолинитов, галлуазитов и гидроокислов железа, т. е. остаточный продукт обогащается алюминием и железом. Особые условия создаются при алуинитизации: щелочи не переходят в раствор, а связываются в основную сернокислую соль. Какие условия необходимы для этого, автору не вполне ясно, но судя по наблюдениям в описываемом районе кислотность сульфатных вод колебалась между 5 и 6. В районе гейзеров породы тоже перерождены в каолиниты, галлуазиты и гидроокислы железа. Но изменения пород, по нашему мнению, произошли не за счет воздействия на породы щелочной гейзерной воды, а под влиянием циркулирующих у поверхности кислых сернокислых растворов (сульфатарное поле). В отношении изменения пород на глубине мы не располагаем данными, но судя по тому, что воды обогащены натрием, можно допустить, что породы должны им обедняться.

Минеральный состав вод (катионы) почти полностью формировался за счет состава лав и туфов района распространения этих вод.

Наиболее сложный вопрос — это вопрос об источнике хлора. Автору как вулканологу легко объяснить происхождение хлора за счет магматических эманаций, поскольку неоднократно наблюдались обильные выделения  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  как преобладающих компонентов газовой фазы при извержении побочных кратеров Ключевского вулкана, изливающих базальтовую лаву. Однако автор не пришла к этому заключению при объяснении состава хлоридно-натриевых вод гейзеров Камчатки. Впечатление такое, что минеральный состав их зависит от состава пород, в которых они формировались (возможно, в морских третичных осадках, известных в этом районе). На какой-то глубине воды, попав в район вулканического очага, перегревались и только частично обогащались вулканическими эксгаляциями.

Основным возражением против вулканического происхождения хлора является то, что последняя стадия остывания вулканических тел характеризуется обильным выделением паров воды и газов группы серы и углерода, и поэтому, как правило, в кислых сульфатных водах источников, территориально связанных с вулканами (в кратерах, кальдерах, у подножия угасающих вулканов среди сульфатар) хлор присутствует только в малых количествах и, наоборот, присутствует в больших количествах в щелочных источниках, более удаленных от действующих вулканов и характеризующихся большим дебитом.

В результате изучения поствулканических явлений и термальных ключей на Камчатке автор пришла к заключению, что наблюдаемые ныне гидротермы даже в районах проявления современного вулканизма формировались за счет метеорных вод глубокой циркуляции и поверхностных вод, нагретых вулканическим теплом и только частично обогащенных вулканическими эманациями. Большая часть минерального состава вод (в частности, почти все катионы, как породобразующие, так и редкие) заимствована из пород, в которых формировались воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В. И. История минералов земной коры. История природных вод. Т. 2, ч. 1, вып. 1, 1933.
- Виноградов А. П. Рассеянные химические элементы в подземных водах разного происхождения (о значении коэффициентов пропорциональности). Тр. Лаб. гидрогеол. проблем, т. 1, 1948.
- Влодавец В. И., Морозов А. И., Троицкий В. Д. Вулкан Малый Семьячик. Бюлл. Вулк. ст. на Камч., № 15, 1948.
- Влодавец В. И. Вулканы Советского Союза. Географгиз, 1949.
- Дуров С. А. Физико-химические основы пенистого переброса котловой воды. Изд. АН СССР. М.—Л., 1948.

- Заварицкий А. Н. Северная группа вулканов Камчатки. М.—Л., 1935.
- Иванов И. З. Газы и возгоны Билюкая и Туйлы — побочных кратеров Ключевского вулкана. Бюлл. Вулк. ст., № 8, 1940.
- Крaшенинников С. Описание земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии Наук профессором. Т. 2. Спб. Имп. Академ. Наук, 1786.
- Красковский С. А. О промышленном использовании природного вулканического пара и тепла. Изв. Всесоюз. географ. об-ва, т. 40, вып. 4, 1948.
- Лагунов И. И. Камчатские гейзеры. Природа и знание, 1950, ч. 3, № 8.
- Морозов А. И. Гейзеры на Камчатке. Природа, 1951, № 8.
- Набоко С. И. Об изучении сублиматов Ключевского вулкана. Изв. АН СССР, сер. геол., 1945, № 1.
- Набоко С. И. Извержение Билюкая — побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г. Тр. Лаб. вулк. и Камч. вулк. ст., вып. 5, 1947.
- Попков В. Ф. Лавы у Желтого ледника на Зиминной сопке. Тр. Камч. вулк. ст., вып. 2, 1948.
- Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки. Изд. АН СССР, 1937.
- Пийп Б. И. Маршрутные геологические наблюдения на юге Камчатки. М.—Л., 1947.
- Селиванов Л. С. К геохимии и биогеохимии брома. Тр. Биохим. лаб., т. V, 1939; т. VII, 1944.
- Славянов Н. Н. Учение В. И. Вернадского о природных водах и его значение. Мат. к познанию геол. строения СССР, нов. сер., вып. 10, 1948.
- Овчинников А. М. Проблемы изучения терм. Проблемы терм, 1940.
- Овчинников А. М. Современное состояние вопроса о формировании подземных вод. Тр. Лаб. гидрогеол. проблем, № 1, 1948.
- Овчинников А. М. Типы месторождений термальных вод. Сов. геология, 1949, № 40.
- Овчинников А. М. О новой классификации источников. Бюлл. МОИП, сер. геол., т. XXV (6), 1950.
- Устинова Т. И. 1. Гейзеры в долине р. Шумной. Бюлл. Камч. вулк. ст., № 12, 1946.
- Устинова Т. И. 2. Гейзеры на Камчатке. Изв. Всесоюз. географ. об-ва, 1946, № 4.
- Устинова Т. И. Верхне-Семьячинские горячие источники. Изв. Всесоюз. географ. об-ва, т. 79, вып. 4, 1947.
- Устинова Т. И. Вулкан Кихпиньч. Изв. Всесоюз. географ. об-ва, 1948, т. 80, вып. 5.
- Устинова Т. И. Камчатские гейзеры. Тр. Лаб. гидрогеол. проблем. им. Ф. П. Саваренского, т. 2, 1949.
- Allen R. On the condition of the Haykadaer geysers of Iceland, July 1885. Rep. Brit. Assoc. Adv. Sci., 1886.
- Allen E. T. 1. Neglected factors in the development of thermal springs. Proc. Acad. Sci., vol. 20, 1934.
- Allen E. T. 2. The agency of Algae in the deposition of Travertine and Silica from thermal water. Amer. Journ. Sci., vol. 28, No 167, 1934.
- Allen E. T. Geyser basins and igneous emanations. Econ. Geol.
- Allen E. T. and Day A. L. Steam wells and other thermal activity at «The Geysers», California. Carnegie Inst. Wash. Publ. 378, 1927.
- Allen E. T. and Day A. L. Hot springs of the Yellowstone National Parc. Carnegie Inst. Wash. Publ. 466, 1935.
- Andreas A. Über die Nachachtung verschiedenen Geysirtypen und über Gasgeysire. Verhunde naturhist.-med. Ver Heidelberg, new ser., vol. 5, No. 1, 1893.
- Barth T. W. Geysers in Iceland. Amer. Journ. Sci., vol. 238, 1940.
- Barth T. W. Volcanic Geology, Hot Springs and Geysers of Iceland. Carnegie Inst. Wash. Publ. 587, 1950.
- Bauer C. The story of Yellowstone geysers. Privately printed. 1931.
- Bauer C. The story of Yellowstone geysers. 1937.
- Bloss'Donald and Barth. Observations on some Yellowstone Geysers. Bull. Geol. Serv. Amer., vol. 60, 1949.
- Bunsen R. and Descloiseaux A. Note sur les températures des Geysers d'Islande à différentes profondeurs. Compt. rend. Acad. Sci., vol. 23, 1846.
- Day A. L. and Allen E. T. The volcanic activity and hot springs of Lassen Peak. Carnegie Inst. Puh. 360, 1925.
- Day A. L. The hot spring problem. Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 50, 1939.
- Donald, White E., Brannock W. W. Transactions American Geophysical Union, vol. 31, No. 4, 1950.
- Hallgrímsson V. Geyser und Strokkur. Krögers. Naturhist. Tidsskr., vol. 2, 1838.
- Herbert A. S. Hot springs of New Zealand. London, 1921.
- Fix P. F. Nomenclature of geyser eruptions. Jour. Geol., vol. 47, 1939.
- Fix P. F. Regularity of Old Faithful geyser, Yellowstone National Park. Amer. Journ. Sci., vol. 247, 1949.

- F e n n e r C. M. Hydrothermal metamorphism on geyser-basins of Yellowstone National Park as shown by deep drilling. Trans. Amer. Geophys. Union., vol. 15, 1934.
- K r u g v o n N i d d a. On the mineral springs of Iceland. Edinb. New. Philos. Journ., vol. 22, 1836.
- L a n g K. O. Über die Bedingungen der Geysir. Nach Gesellsch. Wissensch. Cottineg, No. 6, 1880.
- L o t t i n V. Voyage en Islande et au Groehland exécuté pendant les années 1835 et 1836. Paris, 1858. Compt. rend. Acad. Sci., vol. 3, 1838.
- L i n d g r e n W. Hot Springs and Magmatic emanations. Econom. Geol., No. 2, 1927.
- M a c k e n z i e G. Travels in Iceland. Edinburgh, 1812.
- S h e r z e r V. An interpretation of Bunsens geyser theory. Jour. Geol., vol. 41, 1933.
- S o n d e r R. A. Zur Theorie und Klassifikation der eruptiven vulkanischen Vorgänge, vol. 28, 1937.
- S w i t z e n. The geyser Sonoma Country, California. Rock a. Minerals, vol. 26, 1951.
- R e h m A. Wie der Geysir aus seinem 20 Jahrigen Schlaf erweckt wurde. Umschau, vol. 39, 1935.
- T h o r k e l s s o n T. On the geyser theory. Philos. Mag., vol. 5, 1928.
- T h o r k e l s s o n T. On termal activity in Iceland and geyser action. Regkjawik, 1940.
- T h o r k e l s s o n T. Eun um hveraransoknir minax. Timatit. Verkfra, Islands. 1942.
- V o n s e n M. Minerals at «The Geysera», Sonoma Country, California. California Journ. Mines and Geol., vol. 47, 1947.
- W o l f f F. Vulkanismus. Vol. 1, Stuttgart, 1944.