

СУГРОВА Н. Г.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЖИМА ГЕЙЗЕРОВ КАМЧАТКИ

Исследованиями последних лет убедительно показано, что гейзеры являются разновидностью пароводяных кипящих источников, характеризующихся прерывистым действием, возникновение и развитие которых связано с гидродинамическим режимом питающих их высокотермальных водоносных комплексов [1, 3, 10].

Деятельность гейзера состоит из последовательно повторяющихся стадий: [фонтанирования (извержения пароводяной смеси) парения, наполнения канала, излива воды, кипения. При возможном отсутствии некоторых из них обязательны стадии наполнения, кипения и фонтанирования. Под режимом гейзеров понимается продолжительность его действия от какого-либо этапа до его повторения, например между стадиями фонтанирования. Интервал между одинаковыми стадиями называют циклом, периодичностью или активностью гейзера.

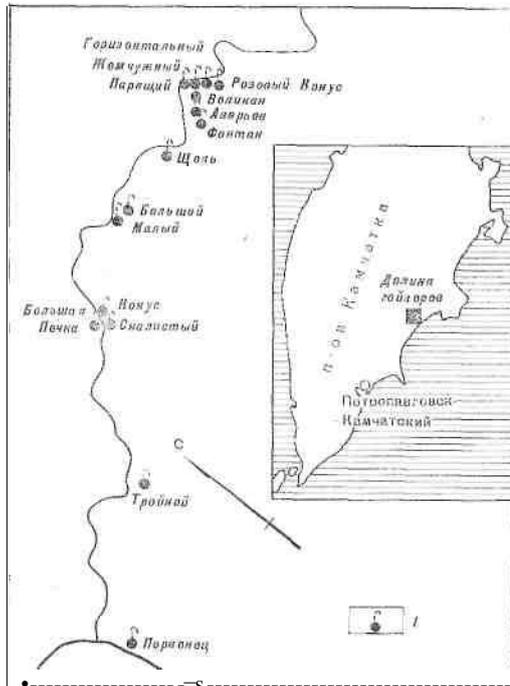
Появление гейзеров на поверхности обусловлено существованием на глубине напорных термальных вод с температурой значительно выше 100°C . Только в этом случае возможно интенсивное парообразование в процессе подъема воды вверх, уменьшение объемного веса и как следствие извержение пароводяной смеси. Перерыв в извержении, что отличает гейзеры от постоянно действующих кипящих источников, связан с опережающим движением пара по каналу гейзера, самоохлаждением депарированной воды, а также несбалансированным поступлением перегретой воды по сравнению с возможностью выброса пароводяной смеси из канала с относительно большим сечением [1—3, 8].

Основные условия возникновения гейзерного режима были определены в ходе исследования пароводяных скважин Паужетского месторождения [1—3]. Позднее математические расчеты подтвердили, что периодическая работа гейзеров связана с проводящей способностью канала при тчении двухфазной смеси в системе пласт — скважина [5]. Из этих публикаций следует, что при неизменных условиях в пласте (температура термальной воды, пластовое давление, водопроницаемость) и постоянстве сечения канала (ствола скважины) периодичность гейзера или работы скважины с гейзерным режимом будет постоянной, с правильным ритмом. Однако гейзеры Камчатки отличаются разнообразием деятельности, а их периодичность изменяется в отдельные промежутки времени, на что обратила внимание еще Т. И. Устинова [13].

Наши наблюдения вначале на гейзерах Паужетки [11] и затем в Долине Гейзеров показали, что периодичность гейзеров изменяется под воздействием метеорологических факторов и уровня режима поверхностных водотоков. Систематические наблюдения проводились за наиболее известными гейзерами (рис. 1).

Продолжительность работы гейзеров фиксировалась на диаграмме регистрирующих приборов-уровнемеров типа Валдай и ГР-38. Уровнемеры устанавливались в ручье или лотке, отводящих воду гейзера при изливе воды или фонтанировании таким образом, чтобы вода при нача-

ле излива касалась поплавок прибора. Движение поплавка передавалось барабану, на котором происходила запись уровня при изливе и фонтанировании. Горизонтальная запись самописца на диаграмме соответствует периоду, когда воды на поверхности нет, т. е. стадии наполнения воронки гейзера. Вертикальный подъем линии на диаграмме означает начало стадии фонтанирования. Моменты фонтанирования четко отражены на диаграммах всех гейзеров, поэтому продолжительность цикла



наиболее точно определяется по расстоянию между пиками фонтанирования (рис. 2).

Анализ влияния «внешних» (с точки зрения формирования глубинных термальных вод)

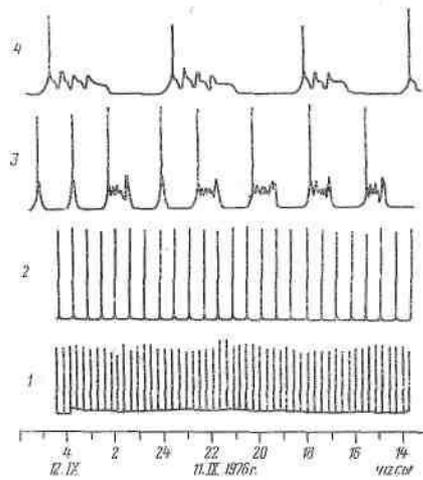


Рис. 1. Схема расположения основных гейзеров в Долине Гейзеров (/-гейзер) жима мср^a Валдай: 1—Первенец, 2 - Щель, 3 — Большой, 4 — Великан

факторов на режим гейзеров составляет предмет данной статьи, в основу которой положены результаты длительных наблюдений в Долине Рейзеров. Оценка кажущихся изменений режима необходима для выявления поведения гидротермальной системы в целом, а также для установления возможной корреляции изменения периодичности гейзеров с сейсмической активностью.

Общая характеристика гейзеров

Долина Гейзеров расположена в Кроноцком заповеднике в 180 км к северо-востоку от Петропавловска-Камчатского (см. рис. 1). Она узким каньоном прорезает толщу вулканогенно-осадочных пород верхне-плиоцен-четвертичного возраста. Породы заполняют Узоно-Гейзерную вулканогенно-тектоническую депрессию, восточную часть которой занимает Гейзерная гидротермальная система. В ее пределах развито несколько водоносных комплексов. Нижний комплекс содержит напорные перегретые воды. Водовмещающей толщей служат, видимо, туфы и туфолоавы андезитового состава плиоцен-четвертичного возраста. Перекрывающим водоупором на большей площади являются плотные разности алевропелитовых туфов. В местах, ослабленных разломами и трещинами, воды разгружаются в виде кипящих источников, гейзеров, паровых струй.

Первые кратковременные режимные наблюдения на гейзерах были проведены в 1941 г. первооткрывательницей Долины Гейзеров Т. И. У ста-

новой [13]. Она приводит данные эпизодических наблюдений в течение нескольких часов за деятельностью гейзеров. Посещение Долины другими исследователями сопровождалось столь же малым числом наблюдений [7, 9, 4, 6, 14]. Наиболее подробные исследования режима гейзеров в эти годы были сделаны С. И. Набоко [7]. В 1962 г. группа гидрогеологов Института вулканологии и Геологического института АН СССР во главе с В. В. Аверьевым наряду с гидрогеологическими, геотермическими и геохимическими исследованиями дала краткую характеристику режима гейзеров [6]. Затем в 1969 г. эпизодически режимом занимались сотрудники лаборатории гидрогеологии и геотермии Института вулканологии. С 1972 г. были организованы более длительные и автоматически регистрируемые непрерывные измерения активности гейзеров, которые в 1974—1975 гг. продолжались в течение всего года. Одновременно проводились гидрометеорологические наблюдения. При этом измерялись атмосферное давление, осадки, уровень реки, температура воздуха, и воды в реке, влажность воздуха, скорость ветра.

Главная особенность каждого гейзера — периодичность его работы. Она может изменяться от нескольких минут до часов и суток. Кроме этого, каждый гейзер отличается высотой пароводяной струи, ее наклоном, длительностью стадий, выходным отверстием канала, его размерами и формой, наконец, гейзеритовой постройкой (конус, плащ, плоская площадка и др.). Подробное описание особенностей строения каждого гейзера впервые было сделано Т. И. Устиновой [13].

На рис. 2 представлен режим нескольких известных гейзеров. Анализ активности наиболее крупных гейзеров позволяет разделить их условно на две группы. К первой относятся гейзеры, периодичность которых отличается относительно правильным равномерным ритмом, ко второй — гейзеры, в деятельности которых можно выделить короткие и длинные циклы.

Гейзеры первой группы — Щель, Малый, Конус, Первенец, Розовый, Конус, Большая Печка, Фонтан — имеют малые объемы воронки (канала) и небольшую площадь выхода на поверхность. Они же характеризуются коротким циклом деятельности (около 1 ч, а чаще 35 мин и менее). Площадь воронки таких гейзеров, как правило, не превышает 1 м^2 , объем воронки и канала обычно меньше 10 м^3 .

Гейзеры второй группы — Великан, Большой, Тройной, Горизонтальный — характеризуются большим объемом канала со значительным сечением устья (объем каналов этих гейзеров определен по количеству воды, заливаемой нами после извержения). Например, объем канала Великана, вероятно, с подводящими трещинами составил $\sim 20 \text{ м}^3$, Большого — около 16 м^3 . Площадь воронки обоих гейзеров более $\sim 1 \text{ м}^2$. Гейзеры этой группы отличаются длительным перерывом между извержениями (более 1 ч) и большими амплитуды колебания продолжительности цикла во времени. Очевидно, размеры канала гейзера, объем и площадь его верхней части значительно влияют на характер режима гейзеров. В ритме гейзеров Большой, Великан, Тройной, Аверьев четко проявляются короткие и длинные циклы.

Короткие и длинные интервалы гейзера Большой отличаются между собой в среднем на 30—50 мин. Последовательность коротких и длинных интервалов постоянно меняется. Могут быть разные вариации: несколько коротких и один длинный, один короткий и несколько длинных. Закономерности в смене коротких и длинных интервалов не замечено.

Интересно отметить, что в максимальном цикле гейзера Большой всегда через 90 мин (т. е. в течение времени, соответствующего продолжительности максимального цикла) отмечается большой всплеск, который сменяется бурным кипением. На диаграммах этот момент отмечен небольшим пиком. Создается впечатление, что готовность к стадии фонтанирования происходит через одно и то же время, но заглушается влия-

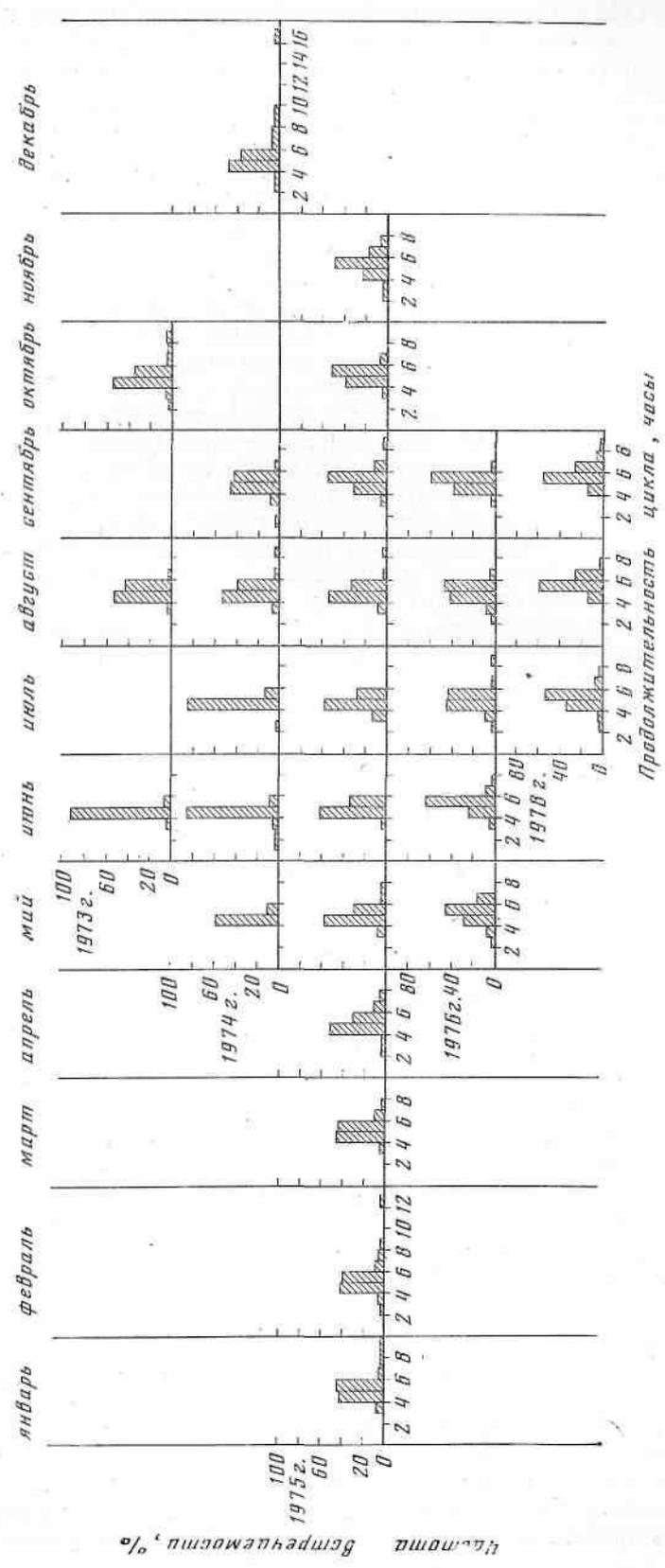


Рис. 3. Гистограммы распределения продолжительности цикла гейзера Великий (100% соответствуют 150 тонкам наблюдений)

нием внешних условий, при этом интервал увеличивается между фонтанированием до 120 мин. Подобные всплески в стадии кипения, но через 30—40 мин. наблюдаются и в работе феликана. На гейзере Аверьев измерялся расход воды после длинных и коротких циклов. Количество выбрасываемой воды за извержение колебалось между 1,8 и 2,2 м³. После длинных интервалов расход был наибольшим и время фонтанирования также удлинялось, после коротких интервалов соответственно уменьшались расход и время извержения. Средний за цикл расход оставался относительно стабильным.

Характер деятельности гейзеров зависит также от гидрогеологических условий (положения пьезометрического уровня термального водоносного комплекса, фильтрационных свойств водосодержащих пород). Пьезометрический уровень, близкий к поверхности земли, создает, как правило, неустойчивый режим, гейзера и предпосылки для его перехода в постоянный и наоборот. Такое явление наблюдалось у гейзера Парящий. До 1972 г. он имел постоянный режим фонтанирования с дебитом 2 л/с. В 1972 г. появились признаки изменения режима, а с 1973 г. он стал действовать как гейзер с продолжительностью цикла в 20—30 ч. То же наблюдалось с пульсирующим источником Скалистый, расположенным ниже по течению реки. С 1973 г. он стал работать в гейзерном режиме. Химический состав вод названных источников не изменился, что исключает поиски причин в смешении с охлажденными грунтовыми водами.

Случаи перехода гейзера в пульсирующий источник и наоборот наблюдались нами неоднократно. На правом берегу руч. Водопадного в 1975 г. в круглой воронке образовался гейзер с незначительным расходом. Уже на следующий год из-за отсутствия слива воды ее температура в воронке перестала достигать точки кипения и она лишь слабо парила за счет пара, поступающего в дно понижения, заполненного водой по верхностного стока. Достаточно было прорыть небольшую щель для стока воды, и мы вновь получили источник с гейзерным режимом. В данном случае причиной исчезновения, а затем появления гейзера было изменение перепада давлений в канале, вызванного изменением морфологии мест Гразгрузки воды.

Как показали наши комплексные исследования, на постоянный ритм деятельности гейзера воздействуют также гидрометеорологические факторы: атмосферное давление, осадки, уровень реки, температура воздуха и т. д. Выделение влияния каждого из этих факторов затруднено. Действие их, как правило, различно по силе и длительности и проявляется комплексно. Это влияние наиболее ярко выражено в режиме Великана (рис. 3). Оно проявляется в сезонных изменениях интервала между фонтанированием. Частота извержений значительно меняется во времени. Так, диапазон величин цикла Великана: в 1974 г.— от 1 ч 30 мин до 10 ч и более, в 1976 г.— от 9 ч до 2 ч 20 мин (средние 5 ч 40 мин), в 1978 г.— от 2 ч до 8 ч 30 мин. Превалирует средний характерный интервал 5 ч. Количество циклов другой продолжительности меняется в зависимости от гидрометеорологической обстановки.

На рис. 4 изображены гистограммы продолжительности циклов остальных гейзеров в течение года. Несмотря на существующий разброс интервалов в месячной выборке, средняя величина мало изменяется.

Рассматривая режимные данные известных гейзеров за многолетний период, можно видеть относительное постоянство их активности. На рис. 5 нанесены средние продолжительности циклов гейзеров. Средний цикл за время 1941—1972 гг. определялся из выборок, не превышающих, как правило, 10 точек. С 1972 г. при автоматической регистрации деятельности гейзеров число наблюдаемых циклов увеличилось в десятки и более раз. Наблюдения проводились в основном в летний период, данные же за 1975 г. представляют среднегодовые циклы. Заметные

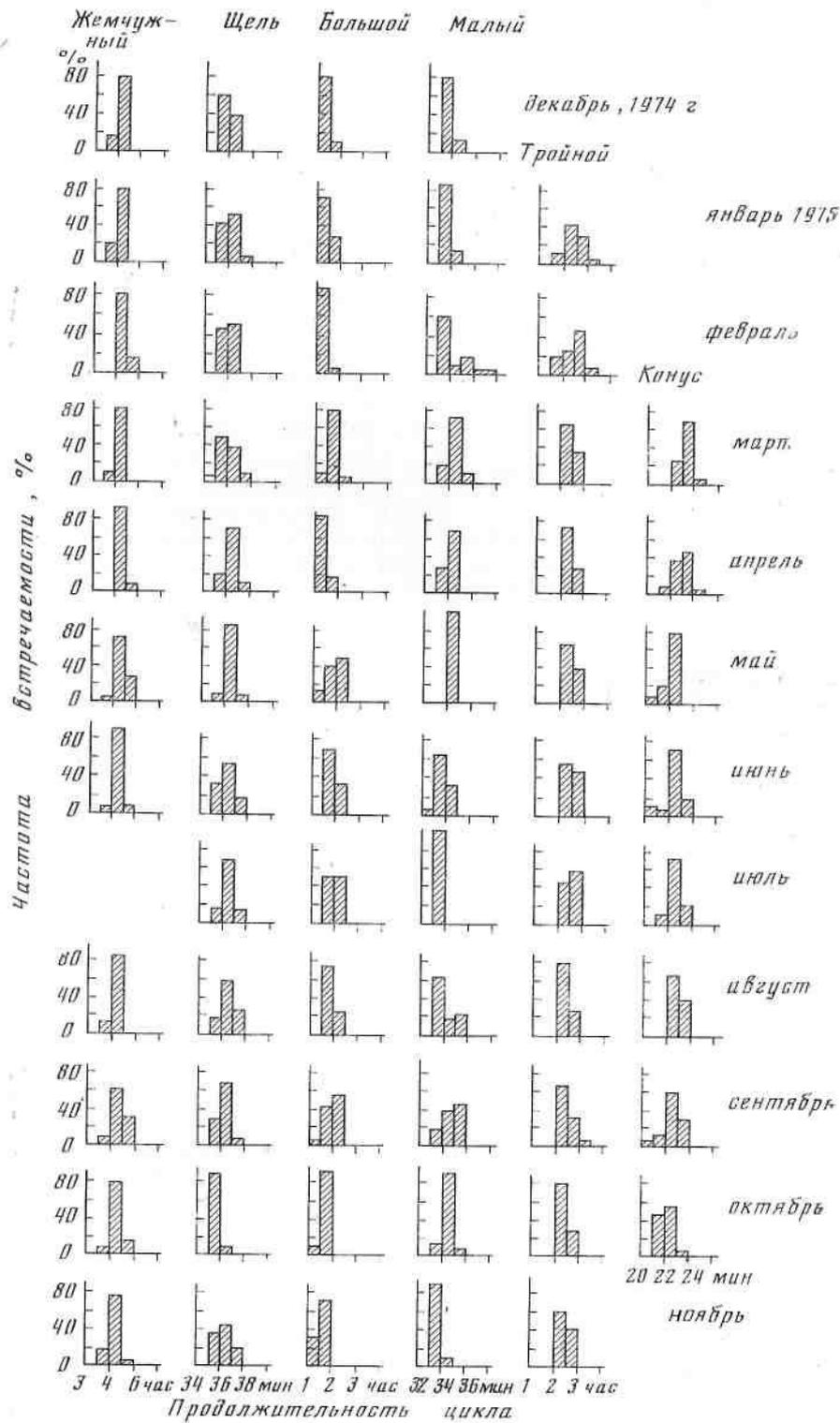


Рис. 4. Гистограммы распределения продолжительности циклов гейзеров по данным систематических наблюдений в течение года (100% соответствуют 30 точкам наблюдений)

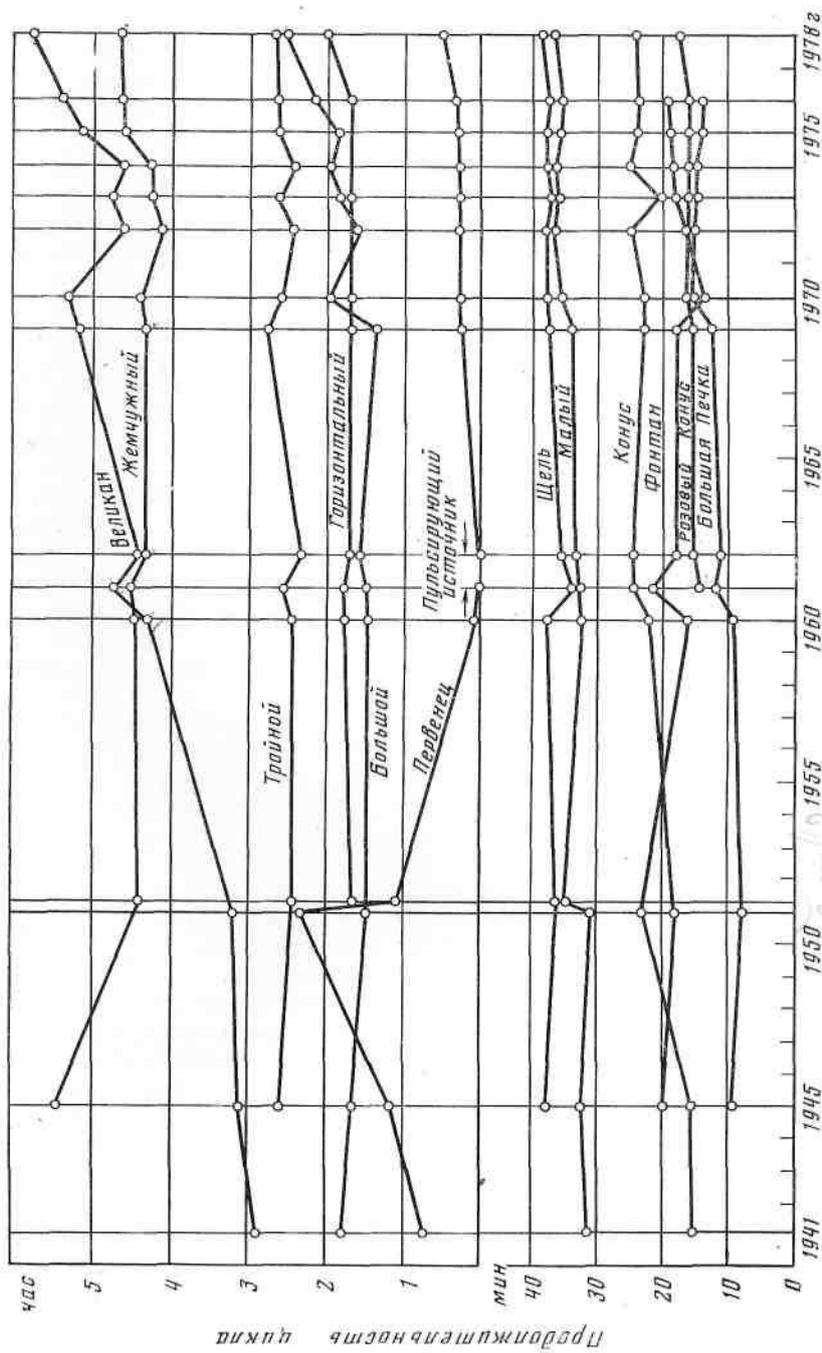


Рис. 5. Продолжительность циклов деятельности гейзеров за период 1941—1978 гг. За 1941, 1945, 1951 гг.—данные [13,7]; 1960 г.—[9]; 1961, 1962 гг.—[4]; 1969—1970 гг.—[14]; 1972—1978 гг.—данные автора

"изменения в режиме видны в гейзерах Великан и Первенец. Установлен рост величины цикла Великана за наблюдаемый период. Неоднократно изменялась периодичность гейзера Первенец, увеличиваясь до 2 ч 20 мин в 1951 г. и уменьшаясь до нескольких секунд (пульсирующий источник) в 1961—1962 гг. Периодичность гейзера Великан за почти сорокалетний период изменилась с 2 ч 50 мин до 5 ч 40 мин. Единичные замеры до 1972 г. при большом разбросе величин циклов, характерном для этого гейзера, могут оказаться далекими от средних значений, поэтому правильнее отметить лишь тенденцию к увеличению продолжительности цикла гейзера Великан.

Итак, хотя режим изучаемых гейзеров в многолетнем ряде наблюдений стабилен, в кратковременные периоды могут быть значительные вариации параметров режима в сторону их увеличения или уменьшения от средней величины.

Влияние на гейзерный режим гидрометеорологических факторов и землетрясений

Рассмотрим влияние на режим гейзера атмосферного давления, уровня воды в реке, количества осадков, скорости ветра, температуры воздуха и землетрясений. Все эти факторы могут действовать одновременно.

Для того чтобы выделить влияние каждого из этих факторов, требуется информация об общем характере реализаций исследуемых явлений. Не располагая ею, мы попытались охарактеризовать хотя бы линейную связь между среднесуточной величиной цикла и соответствующими среднесуточными характеристиками исследуемых факторов. При этом учитывались оценки коэффициентов корреляции. Последние рассчитывались для каждого месяца 1974—1975 гг. отдельно, т. е. общее число коррелируемых пар наблюдений было равно 30, а за летне-осенний период 1978 г.— 90 пар. Исходя из модели нормального распределения последовательности режимных точек, значимость рассчитанных коэффициентов корреляции грубо оценивалась по критерию Стьюдента. Коэффициенты, равные и больше 0,4, признавались значимыми. ~"

Исследуем влияние на величину цикла гейзера отдельных факторов, ограничившись анализом данных по гейзерам Великан, Большой, Щель и Малый. Выбор этих гейзеров не случаен. Великан..... и Большой имеют характерные черты гейзеров с большой продолжительностью цикла и заметной связью режима с гидрометеорологической обстановкой вследствие больших площадей воронки и объема канала. Гейзеры Щель и Малый ~характеризовали многочисленные гейзеры" с" коротким периодом (до 35 мин) и с меньшей реакцией на изменение гидрометеорообстановки.

Атмосферное давление. Этот фактор является одним из наиболее действенных. Наибольшее влияние, согласно нашим исследованиям, оказывает резкий скачок давления. Плавные изменения давления не имеют существенного значения. При визуальном сопоставлении кривых режима с атмосферным давлением выявляется различная реакция гейзеров на его вариации. Гейзеры с большим резервуаром в верхней части канала и с продолжительными периодами между извержениями (Великан и Большой) значительно меньше реагируют на изменение давления, чем ...остальные с каналом и воронкой меньшего размера. Эмпирические лишней регрессии $T=f(P)$ наглядно демонстрируют характер связи между периодичностью (T) и атмосферным давлением (P). Эти данные показали, что наибольшая взаимосвязь режима с давлением обнаружилась у гейзеров Щель, Конус, где она обратно пропорциональна, в то время как у гейзеров Великан и Большой — прямая (рис. 6). Связь эта у названных гейзеров слабая, что выражалось в значительных отклонениях точек на графиках рассеивания, на основе которых были построены кривые регрессии. С целью контроля результатов визуальных исследований

были р
давлен
Осн
более,
чением
август,
влияни
падени
обнару
увелич
Уро
Следуе
зывать
практич
поставл
межене
режиме
стремл
он уме
(рис. 7

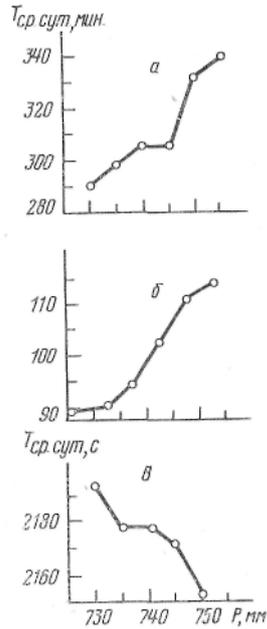


Рис. 6. Эмпирические линии регрессии $T=f(P)$ для гейзеров Великан (а), Большой (б), Щель (в) (1975 г.).

фициентов корреляции между интервалом и дены в табл. 1. коэффициент корреляции порядка 0,4 и декабре 1974 г., в течение 1975 г. (за исклю- сентября) и в период трех месяцев (июль, июдность гейзера Щель сокращалась под о давления (и наоборот, возрастала при его ан связь с давлением значительно слабее и е, сентябре и ноябре. Она выражалась в вышении давления.

гейзеры расположены в тальвеге долины. им работы гейзеров уровень реки может ока- нтовым водам, уровень которых близ реки с тем же знаком испытывает колебания. Со- уточного цикла гейзеров Щель и Большой в оды показало, что существенного разлитая в деятельности" гейзера Великан замечено икла в период высокого стояния речных вод: при подъеме уровня воды в реке на 40—50 см ов корреляции подтверждает наличие связи льностью гейзера Великан. В деятельности шой заметной зависимости не обнаружено. и особо высокого подъема уровня до 80 см, ми осадками и относительно давлением, когда периодичность действия гейзеров Щель, Конус, Малый и Большой также учащалась. Интересно отметить, что при наличии связи активности Великана с уровнем режимом

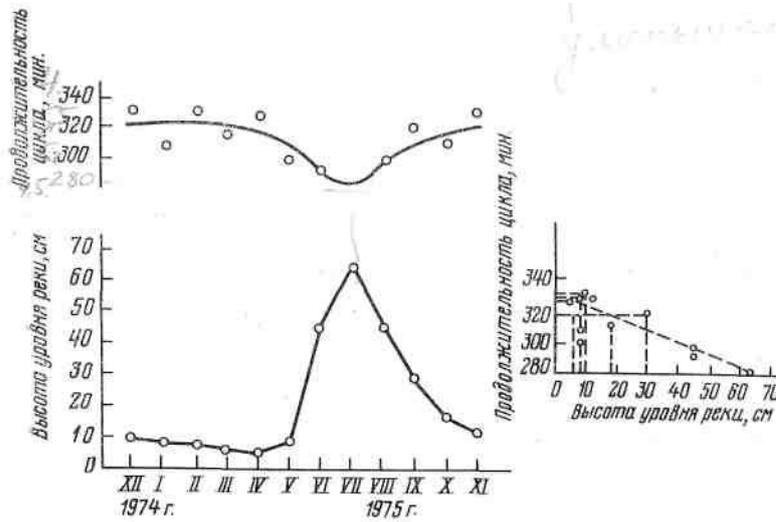


Рис. 7. Связь изменения периодичности гейзера Великан с положением уровня воды р. Гейзерной

Коэффициенты корреляции между циклами деятельности гейзеров и атмосферным давлением

Время	Гейзеры			
	Щель	Великан	Малый	Большой
1974 г.				
декабрь	—0,69	—0,2		
1975 г.				
январь	—0,78	0,01		
февраль	—0,08	—0,12		
март	—0,94	0,12		
апрель	—0,44	—0,11		
май	—0,36	0,33		
июнь	—0,21	0,52		
июль	—0,45	0,13		
август	—0,50	0,22		
сентябрь	—0,13	0,49		
октябрь	—0,61	0,32		
ноябрь	—0,84	0,53		
1978 г.				
июль—август—сентябрь	—0,57	0,13	—0,2	0,18

Примечание. Коэффициенты корреляции, относящиеся к 1974 и 1975 гг., рассчитаны по 30 парам наблюдений, коэффициенты корреляции, относящиеся к 1978 г., рассчитаны по 90 парам наблюдений.

реки в химическом составе воды гейзера изменений не происходило.. Можно поэтому предположить, что участие грунтовых вод выражалось в динамическом подпоре близ канала, препятствующего переливанию поднимающихся термальных вод в грунтовый поток. При низком положении уровня грунтовых J30,g перегретые воды частично переливаются в грунтовые воды. Подобное явление встречалось на Паужетском гейзере Ленивый [11].

Другим гейзером, реагирующим на изменение уровня, является гейзер Первенец. В 1978х-по единичным замерам в конце июня цикл Первенца был равен ,18 мин}, в августе —' 23—26 мин, в сентябре — 24 мин. Уровень реки соответственно изменялся от 60—80 см в конце июня, 40—25 см в августе до 25 см в сентябре. Отметим, что в многолетнем плане именно этот гейзер резко менял свой режим. Вместе с тем гейзер Жемчужный, расположенный на одной площадке с Великаном, но несколькими метрами ближе к реке, отличается постоянством действия в любые сезоны года. Видимо, канал Жемчужного хорошо изолирован от влияния грунтовых вод вследствие меньшего объема по сравнению с Великаном. У Великана это влияние оказывается сильнее из-за большей площади стенок канала, через которые осуществляется связь термальных вод с грунтовым потоком и рекой.

Осадки. Изучение воздействия выпавших осадков на режим гейзеров; наблюдалось в основном в летний период. При больших количествах осадков у гейзеров Большой и Великан отмечалось сокращение продолжительности цикла (табл. 2). Данные по остальным гейзерам показывают отсутствие значимого коэффициента корреляции.

Таким образом, действие осадков не оказывает систематического влияния на ритм большинства гейзеров, т. е. охлаждающее влияние осадков не продлевает стадию кипения гейзера. На некоторых гейзерах (Большой) интенсивное выпадение осадков воздействует через грунтовые воды, подпор которых вблизи канала увеличивает частоту извержения гейзера, т. е. уменьшает продолжительность цикла.

Скорость ветра. Ветер может лишь косвенно влиять на режим гейзера. Однако при большой скорости ветра 10 и 20 м/с действие его обна-

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между величинами периодичности гейзеров и осадков

Гейзеры	1975 г.		1978 г.
	август	сентябрь	июль, август, сентябрь
Щель	0,04	-0,12	0,01
Великан	0,4	0,31	0,13
Большой			-0,43
Малый			0,12

руживается в режиме гейзеров с большой поверхностью воронки (гейзер Великан). Оно выражается в охлаждающем влиянии ветра на термальную воду, заполняющую воронку (канал), что влечет за собой удлинение интервала между извержениями. Поэтому почти все пики наибольших скоростей ветра соответствуют максимальным циклам гейзера Великан. Для гейзера Большой такой зависимости нет. Корреляционный анализ был проведен между средней суточной частотой извержения гейзеров Щель и Великан и скоростью ветра за месяцы с сильными ветрами (табл. 3). Коэффициенты корреляции оказались значимыми для гейзера Великан в феврале и апреле 1975 г.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между продолжительностью циклов гейзеров и скоростью ветра

Гейзеры	1974 г.	1975 г.					
	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	ноябрь]
Щель	0,14	0,28	-0,27	0,25	-0,19	0,08	0,16 -
Великан	0,13	0,3	0,46	0,37	0,55	0,33	0,18

Температура воздуха. Результаты анализа влияний температуры на активность гейзеров оказались противоречивыми. Температура воздуха может оказывать лишь косвенное влияние на режим некоторых гейзеров. Естественно полагать, что такими гейзерами могут быть Великан и Большой из-за большой площади воронок, в которых создаются условия для значительного по величине испарения с поверхности воды. Многочисленные сочетания вариаций температуры воздуха и влажности с учетом ветра определяют; различную величину испаряемости в воронке гейзеров и, следовательно, различное влияние на продолжительность их цикла. Температуру воздуха, видимо, не следует рассматривать в качестве режимобразующего фактора.

Из изложенного следует, что влияние на режим гейзеров даже одного гидрометеорологического фактора не бывает одинаковым (при равных абсолютных данных). Например, уменьшение продолжительности цикла гейзера при увеличении атмосферного давления не означает такого же уменьшения в другом случае. Видимо, при анализе характера влияния внешнего фактора каждый раз нужно иметь в виду только случаи его преобладающего действия при относительном постоянстве других. Общий же эффект воздействия чаще достигается комплексом факторов. Комбинации могут быть многочисленными и редко повторяемыми, соответственно различны и изменения режима. Обнаруженные закономерности в режиме гейзеров от вариаций гидрометеорологических условий указывают лишь на тенденции к прямой или обратной зависимости.

Землетрясения. Предварительный анализ показал, что заметные изменения в режиме гейзеров происходят при землетрясениях 13-го энергетического класса с расстоянием от эпицентра до 200 км [12]. Ранее сообщалось о корреляции изменения периодов гейзеров с сейсмической активностью [15]. Однако использование гейзеров в качестве одного из предвестников землетрясений затруднено тем обстоятельством, что параметры режима испытывают комплексное действие гидрометеорологических факторов, заглушающих возможный эффект действия землетрясений. Усложняют возможность поисков и неоднозначные реакции гейзеров на землетрясения, и небольшое число зарегистрированных событий. Землетрясения 13-го энергетического класса произошли 22 марта и в апреле 1975 г. с магнитудами 4,8 и 7,0, с расстояниями до эпицентра 128 и 240 км. Отчетливой реакции в деятельности Великана не было. На это землетрясение среагировал гейзер Аверьев. Среднее время его цикла колебалось между 12 и 14 мин. За полтора месяца до землетрясения интервал между извержениями резко увеличился до 21 затем до 26 и в начале марта до 31 мин, т. е. более чем в 2 раза. С 4 марта началось постепенное, а затем резкое уменьшение этого интервала до 20 марта. За три дня до землетрясения цикл с 27 мин. уменьшился до 15 мин (рис. 8).

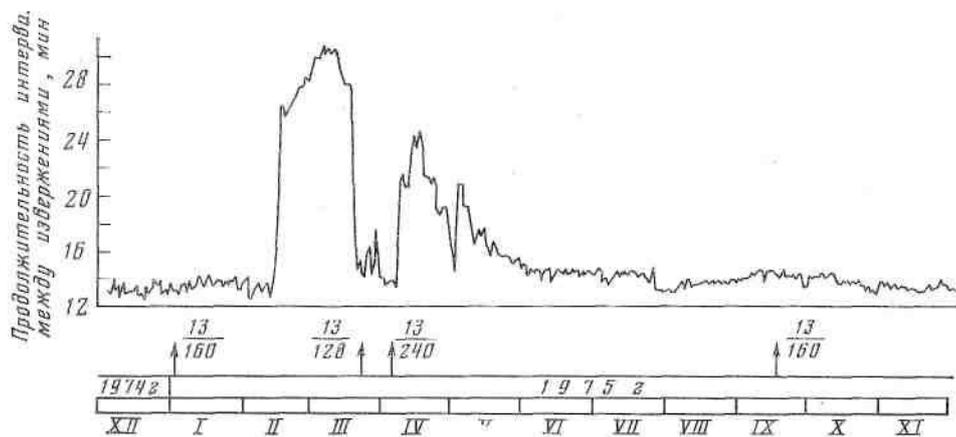


Рис. 8. Вариации периодичности гейзера Аверьев в связи с землетрясениями. Цифры у стрелок обозначают: в числителе — энергетический класс землетрясения, в знаменателе — расстояние до эпицентра, км

Через два дня после землетрясения, 6 апреля, продолжительность цикла гейзера Аверьев снова увеличилась до 24 мин. Такое высокое значение интервала держалось весь апрель. В этот период шли непрерывные рои землетрясений. В мае режимная кривая стабилизировалась, приняв обычный вид со средними значениями 14—15 мин. Интересно отметить, что землетрясения 13-го энергетического класса с небольшими эпицентрными расстояниями, случившиеся в начале января и затем в сентябре 1975 г., никакого влияния на режим гейзера не оказали.

Землетрясение в апреле, возможно, явилось причиной появления минимальных величин в цикле гейзера Большой, т. е. на фоне чередующихся циклов в 90 и 130 мин преобладали циклы в 90 мин с редкими интервалами в 120 и 130 мин. У гейзера Щель 22 марта наблюдалась минимальная периодичность 34 мин 40 с при среднем значении 36 мин. Снижение началось за 11 дней до землетрясения. В этот же период, постепенно нарастая, увеличилось значение атмосферного давления, достигнув максимального значения в день землетрясения, и, возможно, причиной изменения режима явилось именно это событие. Приведем пример

с гейзером Великан в 1978 г. Землетрясение 13-го энергетического класса с эпицентром, удаленным на 150 км от Долины Гейзеров, произошло 23 сентября. Накануне и в день землетрясения был сильный дождь, (34 мм осадков), в это же время отмечался резкий спад давления (20 мб за 2 дня) на фоне его роста в течение предыдущих 13 дней. Кроме того, наблюдался подъем уровня воды в реке на 18 см. Все это само по себе могло уменьшать интервал между извержениями. Однако отмечено, что/ землетрясению также сопутствуют чаще минимальные циклы гейзеров. В нашем случае интервал Великана с 7 ч 40 мин, зарегистрированный 20 сентября, достиг минимального значения — 4 ч в ночь с 22 на 23 сентября, а за 16 ч до землетрясения, затем стал увеличиваться. Уменьшение продолжительности цикла на 3Гч за короткий „,промежуток времени наблюдалось не раз, но не всегда спад кривой активности гейзера, сопровождался землетрясением.

Поведение остальных гейзеров в период описываемых землетрясений было различным. График режима гейзеров Тройной и Конус не изменился. У гейзера Большой произошло уменьшение среднесуточного цикла с 2 ч 20 мин до 1 ч 30 мин за 2 дня до события. У гейзера Щель среднесуточный цикл 23 сентября увеличился на 1 мин, а до него приблизительно в течение месяца отмечалась тенденция к уменьшению продолжительности цикла. Вероятно, причиной описанных изменений активности гейзеров, учитывая большой энергетический класс 13 и эпицентральное расстояние в 150 км, следует считать тектонические напряжения, возникшие в период землетрясения. Во всех остальных случаях в наблюдаемые периоды 1974, 1975, 1976 гг. энергетические классы землетрясений с эпицентральным расстоянием 150 км были слабее и соответственно заметных реакций в деятельности гейзеров не наблюдалось.

При детальном рассмотрении режимной кривой 1978 г. гейзера Великан с учетом каждого цикла (а не среднесуточного, как это анализировалось для гейзера Аверьев) и землетрясений больше 10-го энергетического класса с эпицентральным расстоянием 200 км обнаружилось некоторые закономерности. В преобладающем числе случаев в режиме отмечались однозначные реакции на землетрясения: за 2—3 дня, предшествующие землетрясению, при средней продолжительности цикла 5 ч наблюдался максимум в 6—8 ч. Затем в течение 2 сут продолжительность, последовательно уменьшалась до 5—4 ч в день землетрясения и по следующие сутки. Наблюдались и противоположные реакции на землетрясения. Подсчитанные средние квадратичные отклонения величин циклов в активные периоды с наличием землетрясений и в спокойные периоды в режиме 1978 г. практически не отличаются между собой, несмотря на отмеченные максимумы и минимумы в последовательностях режимных точек.

Таким образом, изложенные данные в поведении гейзеров показывают на некоторую связь режима гейзеров с землетрясением, в частности, на тенденцию к уменьшению их периодичности перед событием. Однако для подтверждения подмеченных закономерностей необходим больший период систематических наблюдений.

Выводы

1. Режим гейзеров за почти сорокалетний период наблюдений не претерпел принципиальных изменений.

2. Влияние гидрометеорологических факторов на режим гейзеров является сложным из-за их комплексного воздействия на работу каждого гейзера. По характеру зависимости режима от гидрометеорологической обстановки гейзеры условно разделены на две группы: с большими площадями воронок и объемами канала (Большой, Великан) и с небольшими величинами соответствующих параметров (Щель, Малый,

Конус). Режим первой группы характеризуется большей взаимосвязью с гидрометеорологическими условиями, большими амплитудами интервала между извержениями. Режим второй группы гейзеров в меньшей степени зависит от вариаций гидрометеорологических факторов и отличается стабильностью.

3. На режим гейзеров оказывают влияние наиболее крупные землетрясения. Они выражаются в преобладании тенденции к уменьшению продолжительности цикла деятельности гейзера к моменту землетрясения.

Автор выражает признательность В. Н. Нечаеву за помощь в полевых исследованиях и благодарит за ценные советы и замечания А. Б. Вистелиуса, В. И. Кононова, Т. В. Леонову, В. М. Сугрובה.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверьев В. В.* Особенности динамики пароводяных скважин.— Тр. Лаб. вулканол., 1960, вып. 18, с. 113—122.
2. *Аверьев В. В.* Гидрогеологическое опробование скважин.— В кн.: Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965, с. 144—167.
3. *Аверьев В. В., Сугробов В. М.* Обводненность пород Паужетского месторождения и условия циркуляции высокотермальных вод.— В кн.: Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965, с. 49—63.
4. *Виноградов В. Н.* О режиме Камчатских гейзеров.— Вопр. географии Камчатки, 1964, вып. 2, с. 70—81.
5. *Дрозин В. А.* Физическая модель вулканического процесса. М.: Наука, 1980. 92 с.
6. *Кононов В. И.* Влияние естественных и искусственных очагов тепла на формирование химического состава подземных вод. М.: Наука, 1965. 146 с.
7. *Набоко С. И.* Гейзеры Камчатки.— Тр. Лаб. вулканол., 1954, вып. 8, с. 126—209.
8. *Нехорошее А. С.* К вопросу о теории действия гейзеров.— Докл. АН СССР, 1959. т. 127, 5, с. 1096—1098.
9. *Райк А. А.* О режиме гейзеров Камчатки.— В кн.: Исследование природы Дальнего Востока. Таллин, 1963, с. 39—90.
10. *Сугрובה Н. Г., Сугробов В. М.* Режим высокотермальных подземных вод и влияние на него опытной эксплуатации.— В кн.: Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1966, с. 189—206.
11. *Сугрובה Н. Г.* О режиме Паужетских кипящих источников и гейзеров.— Бюл. вулканол. ст., 1971, № 47, с. 72—75.
12. *Сугрובה И. Г.* Режим гейзеров Камчатки в связи с поисками; предвестников землетрясений: Тез. докл. IX совещ. по подъемным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск — Петропавловск-Камчатский, 1979, с. 136—186.
13. *Устинова Т. И.* Камчатские гейзеры. М.: Госиздат, географ, лит., 1955. 120 с.
14. *Хаткевич Ю. М.* Режим Камчатских гейзеров и суммарная разгрузка термальных вод долины р. Гейзерной.— Вопр. географии Камчатки, 1970, вып. 6, с. 93—95.
15. *Rinehart I. S.* Fluctuations in geyser activity caused by variation in Earth tidal forces, barometric pressure and tectonic stresses.— J. Geophys. Res., 1972, v. 77, № 2, p. 342—350.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
13.XI.1981