

КАМЧАТСКИЙ ОТДЕЛ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СССР

В. М. СУГРОБОВ, Н. Г. СУГРОБОВА

ОСОБЕННОСТИ РАЗГРУЗКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ

Гейзеры были впервые открыты и описаны Т. И. Устиновой в 1941 г. на территории Кроноцкого заповедника. Они так же, как кипящие и горячие источники, паровые струи, грязевые кипящие котлы, площадки нагретого грунта, представляют собой поверхностные проявления гидротермальных систем, которые в настоящее время выделены и изучены во всех областях современного вулканизма. Верхние части таких систем формируются в условиях конкретных региональных и локальных гидрогеологических структур, в данном случае Узон-Гейзерной депрессии восточно-камчатского вулканического пояса, для которых имеются благоприятные условия водного питания за счет большого количества атмосферных осадков, незначительного испарения и накопления их в проницаемых рыхлых отложениях и трещиноватых породах.

В отличие от обычных гидрогеологических структур в пределах гидротермальных систем разгружаются горячие или перегретые (с температурой более 100°C) подземные воды. В приповерхностных условиях при уменьшении давления вода вскипает и служит источником многочисленных выходов пара в зоне водной разгрузки наряду с возможными выходами глубинного пара в зоне восходящего потока гидротерм. В свою очередь разгружающаяся в виде разнообразных источников и гейзеров вода и выходы пара обуславливают нагрев грунта и при взаимодействии с горными породами — их изменение, приводящее к образованию пестроцветных глин. Эти общие черты поверхностной гидротермальной деятельности в пределах гидротермальных систем свойственны и Гейзерной системе, центральная часть которой, где распространены кипящие источники и гейзеры, получила название Долины Гейзеров. Особые условия разгрузки подземных вод обусловили своеобразие ее ландшафта.

В бас. р. Гейзерной выделяется несколько водоносных комплексов: 1 — четвертичных экстрезивных массивов левого и правого бортов долины; 2 — четвертичных и современных пирокластических пород вулкана Кихпинича; 3 — верхнечетвертичных озерных отложений; 4 — плиоцен-четвертичных вулканогенно-осадочных пород, заключающих в себе термальные воды. Первые три комплекса, как правило, представляют собой грунтовые или неглубоко залегающие подземные холодные пресные воды. Наибольшей водообильностью отличаются лавовые потоки липаритов и дацитов первого комплекса. Расходы отдельных источников достигают нескольких сотен литров в секунду. Воды комплекса формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков по всей площади распространения экстрезивий. Химический состав вод этого комплекса характеризуется гидрокарбонатным кальциевым составом с минерализацией до 0,1 г/л (табл. 1) и соответствует составу атмосферных осадков.

Второй водоносный комплекс близок к первому по составу пород и характеру трещинно-пластовой циркуляции. Водоносный комплекс приурочен к выветрелой толще дацито-липаритов, базальтов, а также к рыхлым делювиальным отложениям склонов вулкана Кихпинич и экстрезивии

Химический состав природных вод Долины гейзеров

Источник, дата отбора	Минерализация, г/л	pH	Анионы, мг/л					Катионы, мг/л					H ₃ BO ₃ , мг/л	H ₂ SiO ₄ , мг/л	t, °C
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺				
Атмосферные осадки, IX.1986	0,073	7,6	—	43,9	1,9	0,7	0,1	1,5	0,35	14,2	0,11	—	11,5	—	
I водоносный комплекс, Лавовый ист., 8.X.84	0,07	6,9	—	15,9	2,4	0,7	0,1	2,4	0,9	2,4	1,4	2,8	43,5	+ 2	
II водоносный комплекс, ист. Черный, 9.X.85	0,65 ¹	4,9	—	25,6	278	0,7	0,1	34,2	7,5	48	14,6	0,5	234	+34,5	
III водоносный комплекс, ист. Питьевой, I.X.85	0,125	7,0	—	40,3	0,96	1,4	0,1	3,9	1,2	8,0	1,7	0,7	68	+11,0	
IV водоносный комплекс, г. Жемчужный, 4.X.86	2,44 ²	8,8	3,5	72	163	908	0,2	648	57	23,2	0,5	148	466	+98	
IV водоносный комплекс, г. Великан, 7.X.86	2,19	8,4	1,5	75	153,6	830,7	1,5	572	55,1	22,8	0,2	103,9	378	+98	
IV водоносный комплекс, г. Первенец, 4.X.86	0,87	8,0	—	89,1	86,4	237,9	0,2	198	19,5	16,0	0,2	30,9	195	+98	

Примечания. 1. Fe²⁺ = 2,8 мг/л; Al³⁺ = 5,5 мг/л; H₂S = 143 мг/л; 2. F = 1,1 мг/л; Li = 3,14 мг/л.

Аналитик В. К. Марынова,

г. Желтой, входящей в состав постройки Кихпиныча. В отличие от первого, воды этого комплекса циркулируют в условиях повышенного геотермического режима. Здесь также преобладают безнапорные воды трещинной циркуляции, которые дренируются по склонам Кихпиныча, образуя нисходящие источники, однако химический состав воды и температура заметно отличаются. Если для так называемых фоновых холодных вод поверхностного формирования характерен гидрокарбонатный магниевый-кальциевый и сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав вод с минерализацией, не превышающей 0,9 г/л, с небольшими расходами источников (до первых единиц литров в секунду), то на участках термоаномалий образуются кислые сульфатные воды с пестрым катионным составом из водорода, аммония, алюминия, железа, кальция и магния (ист. Черный, см. табл. 1). Это связано с подъемом пара и газа к поверхности, конденсацией пара и растворением газа в поверхностных и грунтовых водах. В составе газа преобладает углекислота, присутствуют сероводород и аммиак. В зависимости от количества поступающей парогазовой смеси образуются различные водопрооявления (кипящие или горячие водные и грязевые котлы, малодобитные источники).

Значительное место среди холодных вод долины занимают воды третьего комплекса озерных отложений, распространенных в основном на склонах долины. Это воды поверхностного происхождения, образовавшиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков. Водосодержащими породами являются псефитовые, агломератовые туфы. Температура вод от +4° до +11°С. И только в зонах разломов, на участках прислонения озерных толщ к экстрюзиям левого борта, разгружающиеся парогазовые струи с высокой температурой нагревают грунтовые воды. Источники приобретают повышенную минеральную нагрузку вследствие поглощения газа и активизации выщелачивания химических компонентов из окружающих пород. Однако наиболее типичные представители вод озерных отложений имеют гидрокарбонатный кальциевый состав. Они имеют нейтральную реакцию с минерализацией, как правило, не более 0,1 г/л (ист. Питьевой, см. табл. 1). Дебиты источников обычно небольшие, до 0,5 л/с.

Формирование вод второго комплекса происходит при воздействии парогазовых струй вулканического массива Кихпиныч. Воды озерных отложений формируются в основном за счет атмосферных осадков и вод вышележащего комплекса экстрюзивных образований. Влияние выходов пара проявляется только на отдельных участках.

Главной особенностью долины р. Гейзерной являются многочисленные гейзеры и кипящие источники, связанные с разгрузкой четвертого водоносного комплекса напорных термальных (перегретых) вод вулканогенно-осадочных пород плиоцен-четвертичного возраста.

Термальный комплекс в границах системы распространен повсеместно и заключен в плиоценовых лавах и туфах в нижней части бас. р. Гейзерной, в плиоцен-четвертичных туфах и туфобрекчиях — в средней и верхней частях. Водоносный комплекс отделен от вышележащих описанных ранее комплексов относительно водоупорными алевритовыми туфами и плотными разностями агломератовых туфов. По характеру циркуляции воды относятся к трещинным и пластово-трещинным. Они разгружаются в среднем и нижнем течении реки, где, очевидно, пьезометрический уровень превышает отметки поверхности. Это участок расположения основных гейзеров и кипящих источников (рис. 1). Они приурочены к наиболее низким отметкам рельефа, располагаясь, в основном, вдоль русла и подчеркивая трещиноватые зоны основных кольцевых разломов, разломов северо-восточного направления и пересекающих их широтных и субмеридиональных трещин.

Как уже указывалось, в гидротермальных системах, благодаря паро-

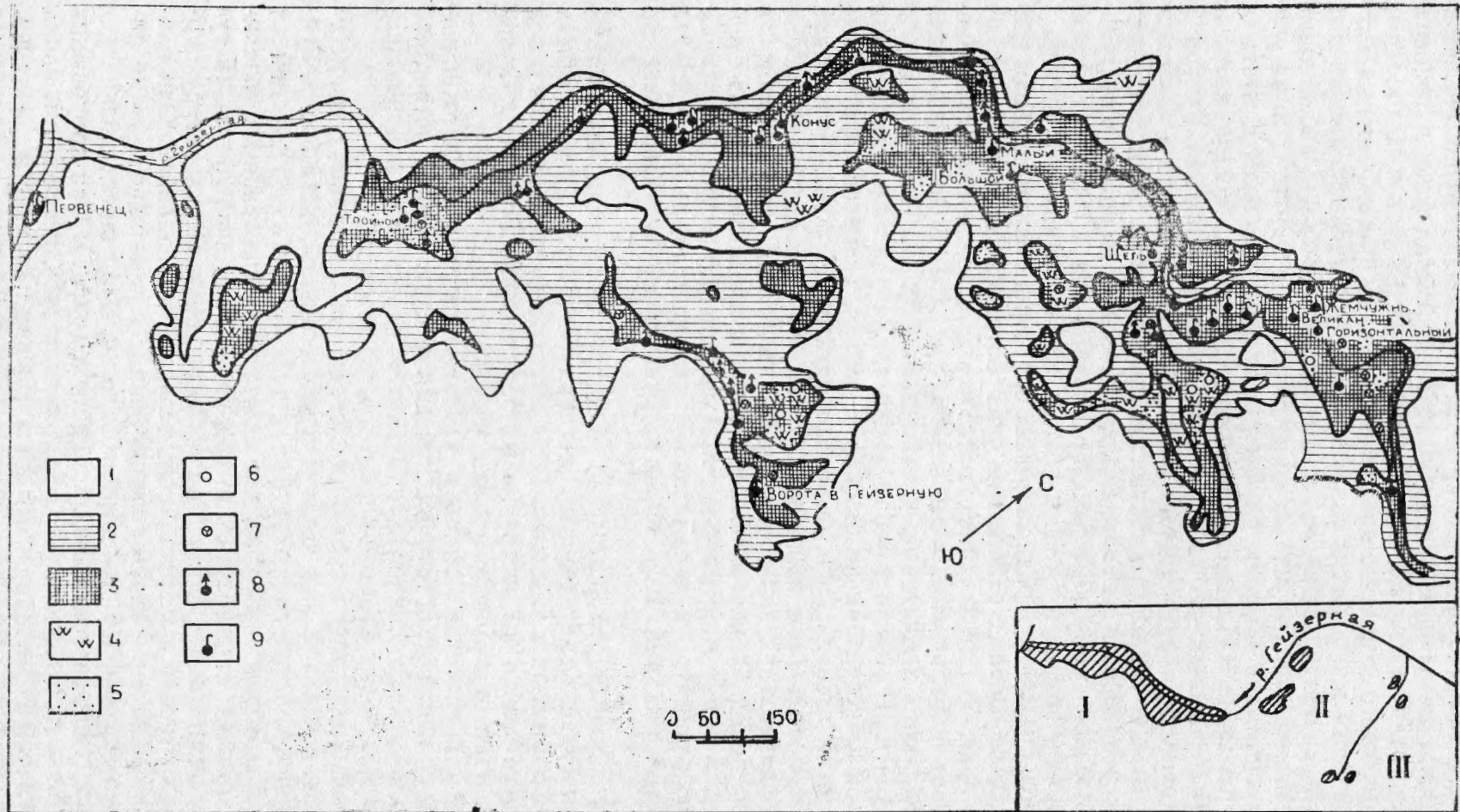


Рис. 1. Схематическая термометрическая карта нижнего и среднего течения р. Гейзерной (Гейзерное термальное поле). Участки с температурой на глубине 1 м: 1 — менее 20°C; 2 — 20—70°C; 3 — более 70°C; 4 — участки гидротермально измененных пород; 5 — участки парящего грунта; 6 — паровые струи; 7 — грязевые и водные кипящие котлы; 8 — пульсирующие источники; 9 — гейзеры. На врезке: расположение термальных полей в долине р. Гейзерной: I — Гейзерное, II — Верхнегейзерное, III — Кихпиничевское

образованию в близповерхностных условиях, осуществляется также паровая разгрузка. Выходы пара наблюдаются в основном в верховьях р. Гейзерной и на склонах вулкана Кихпиныч, там, где пьезометрический уровень находится значительно ниже поверхности. На участке преимущественно водной разгрузки паровые струи отмечаются на возвышенностях микрорельефа. Нагретые водой и паром окружающие породы образуют так называемые термальные поля, условные границы которых были установлены по температуре грунта более 20°C на глубине 1 м по данным термометрической съемки. С учетом распределения отдельных термоявлений по контурам съемки выделено три крупных термальных поля: Гейзерное (самое большое), Верхнегейзерное — поле паровых струй и Кихпинычевское.

Гейзерное термальное поле непрерывно продолжается от впадения р. Гейзерной в р. Шумную на расстояние около 3,5 км вверх по течению. Оно включает в себя 7 из 8 выделенных Т. И. Устиновой термальных участков. Площадь его составляет 0,9 км² (см. рис. 1). Здесь сосредоточены почти все известные гейзеры. Гейзеры, пульсирующие источники, парящие грунты, измененные породы с открытой поверхностью занимают обычно площади с температурами на глубине 1 м более 70°C. На площади, околонтурной изотермами 20°—70°C, встречаются участки измененных пород с растительностью, котлы, теплые и горячие источники, местами участки измененных глинистых пород характеризуются низкими температурами поверхности и, по-видимому, являются свидетелями прошлой гидротермальной деятельности.

По химическому составу высокотемпературные подземные воды (по данным опробования источников и гейзеров) относятся к типичным хлоридным натриевым термам с минерализацией до 2,4 г/л, со слабощелочной реакцией, с повышенным содержанием кремниевой (до 470 мг/л) и борной (до 150 мг/л) кислот (табл. 1).

Кроме обычных компонентов в термальных источниках и гейзерах обнаружены редкие щелочи (литий, рубидий, цезий), мышьяк, сурьма, золото, серебро, висмут, свинец, олово, цинк, медь, барий. Содержание мышьяка (от 0,4 до 1,7 мг/л) позволяет отнести термальные воды к мышьяковистым (Иванов, Невраев, 1964). По количеству кремниевой кислоты (при норме 50 мг/л) воды гейзеров кремнистые. По классификации В. В. Иванова (1964) гидротермы Долины Гейзеров относятся к азотно-углекислым хлоридным натриевым кремнистым мышьяковистым водам.

Изменение состава вод связано с разной степенью их разбавления холодными подземными водами в приповерхностной зоне, а также степенью депарирования горячих вод на пути движения к поверхности. Гейзеры с наиболее концентрированными по минерализации водами и содержанию хлора сосредоточены в средней части долины р. Гейзерной. К ним относятся гейзеры Горизонтальный, Жемчужный, Великан и др. Вода с пониженными концентрациями хлора и минерализацией характерна для гейзеров краевых участков разгрузки термального комплекса. Примером могут служить гейзеры Первенец, Бурлящий, Ворота в Гейзерную.

В пределах Гейзерного термального поля происходит основная разгрузка высокотемпературных подземных вод, что наглядно иллюстрирует гидрохимический и температурный профили р. Гейзерной (рис. 2). Профиль проложен вдоль Гейзерного поля от гейзера Первенец до точки № 30, лежащей в 600 м выше по течению от гейзера Великан. Разгрузка начинается еще выше, в 2 км от Великана, зафиксированная по наиболее высокорасположенным кипящим источникам с водой хлоридно-натриевого типа, однако интенсивность ее невелика.

Особенностью разгрузки высокотемпературных подземных вод является появление на поверхности гейзеров, представляющих собой раз-

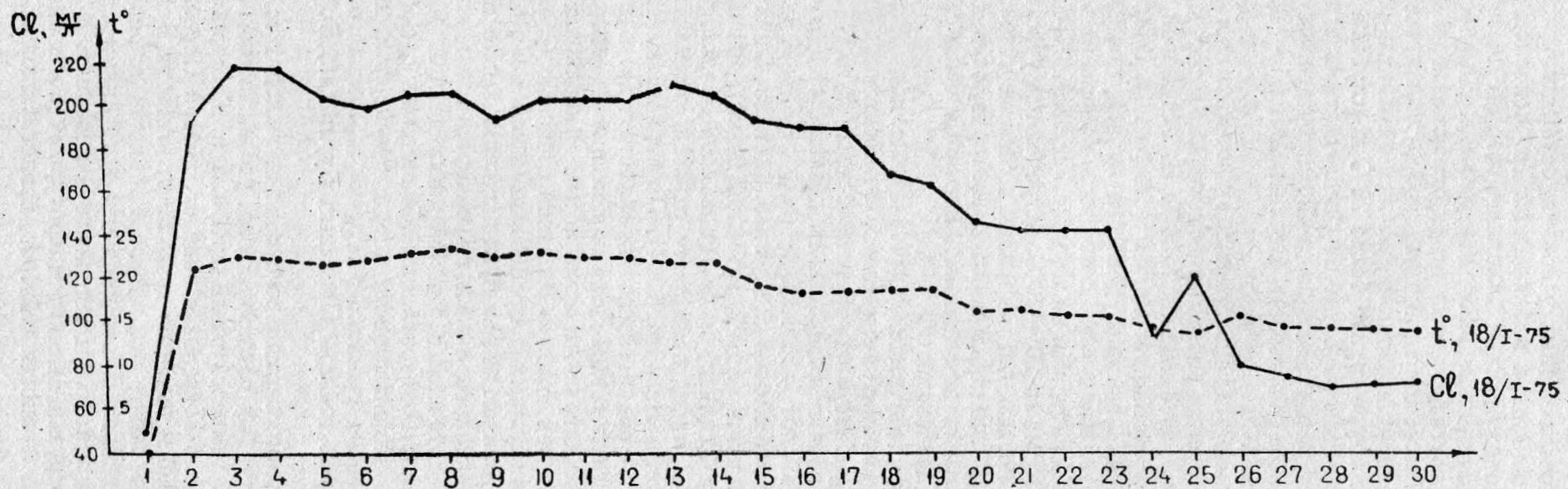


Рис. 2. Гидрохимический и температурный профили р. Гейзерной в пределах Гейзерного поля. Створы через 100 м. Створ 1 — у гейзера Первенец

новидность пароводяных кипящих источников. Перерыв в работе (в извержении), что отличает гейзеры от источников, связан с опережающим движением пара по каналу гейзера и несбалансированным поступлением перегретой воды по сравнению с возможностью выброса пароводяной смеси из канала большого сечения (Аверьев, 1960, 1965, 1966). Именно образование крупных полостей в верхней части трещиноватых пород термального комплекса при прочих условиях, свойственных гидротермальной системе, является причиной существования гейзеров. Наибольшее их число сосредоточено на левом берегу среднего течения р. Гейзерной. Здесь находятся самые мощные по силе и высоте струи, дебиту и красоте гейзеры. По многолетним наблюдениям гейзеры характеризуются относительно стабильным режимом, испытывающим кратковременное влияние гидрометеорологических факторов (Сугрובה, 1982). Наряду с гейзерами наблюдается большое количество пульсирующих источников, для которых характерно непрерывное, с пульсациями истечение воды и пара. Иногда отмечаются взаимные переходы режима источников из гейзерного в пульсирующий и наоборот, что обусловлено перераспределением выхода горячей воды.

В верхнем течении реки расположено термальное поле Верхнегейзерных паровых струй. Оно находится в 5 км выше устья на левом склоне. Характерной его особенностью являются мощные струи насыщенного пара, кипящие или горячие котлы с конденсатом пара в смеси с поверхностной или грунтовой водой и отсутствие кипящих источников и гейзеров. Это поле в 3 раза меньше основного Гейзерного поля.

В верховьях бас. Гейзерной отмечаются термальные поля Кихпиныча. Гидротермальная деятельность сосредоточена здесь, главным образом, в верховьях ручьев, стекающих со склона экстрезии г. Желтой, части вулканической постройки Кихпиныча. Характерными термопроявлениями являются сосредоточенные и рассредоточенные струи насыщенного пара и газа, преимущественно углекислого, с заметным содержанием сероводорода, грязевые кипящие котлы, участки парящего грунта, сероотложения (серные бугры), площади измененных до глини пород. Наблюдаются выходы кислых сульфатных теплых источников (18—54°C).

Таким образом, наблюдается закономерное изменение современной гидротермальной деятельности от парогазовых струй и кислых сульфатных вод подножья вулкана Кихпиныч, до хлоридно-натриевых кипящих источников нижней части бас. р. Гейзерной. Изотопный состав водорода и кислорода (дейтерий, кислород-18) термальных вод показывает, что все они имеют инфильтрационное происхождение без заметной доли магматогенной природы, участие которой предполагается на основании высокого потенциала гидротерм (Есиков и др., 1986).

По химическому составу воды источников, с помощью так называемых геохимических геотермометров, была определена температура горячеводной составляющей (флюида), равная в среднем 250°C (максимальная 330°C), и потока гидротерм в области смещения (180°C).

Гидрогеологическая модель гидротермальной системы Долины Гейзеров представляется следующим образом. Восходящий поток хлоридно-натриевых вод с температурой 250—330°C, в формировании которых принимают участие инфильтрационные воды глубокой циркуляции, поднимается от области магматического очага вулканического массива Кихпиныч-Желтая и, охлаждаясь адиабатически за счет потери пара при движении к поверхности и смешения с холодными подземными водами, дает начало латеральному потоку гидротерм с температурой 180—190°C (рис. 3). Разбавление его пресными холодными подземными водами и разная степень депарирования при движении гидротерм к зоне разгрузки приводят к падению температуры и к большим различиям концентраций хлора в воде гейзеров и источников.

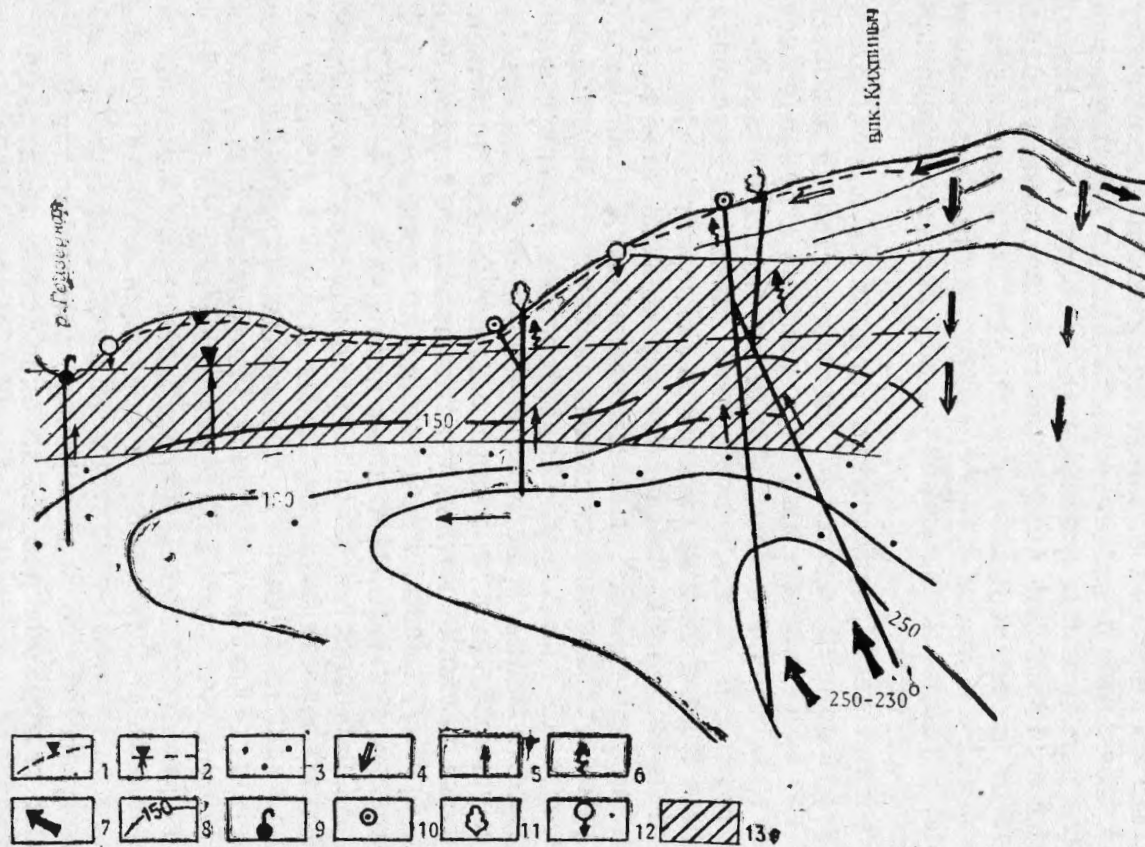


Рис. 3. Гидрогеологическая модель Гейзерной гидротермальной системы: 1—уровень холодных грунтовых вод; 2 — пьезометрический уровень напорных термальных вод; 3 — термальный водоносный комплекс; 4 — направление движения холодных инфильтрационных вод; 5 — направление движения термальных вод; 6 — движение пара и газа; 7 — восходящий поток гидротерм; 8 — изотермы ($^{\circ}\text{C}$); 9 — гейзеры; 10 — грязевые и водные котлы; 11 — паровые струи; 12 — нисходящие холодные источники; 13 — относительно водоупорные отложения

По многолетним измерениям общая величина разгрузки высокотемпературных вод (180°C) составляет 250—300 л/с, в том числе видимая разгрузка около 100 л/с. Это самый крупный на Камчатке вынос высокотемпературной воды на поверхность. Его можно объяснить тем, что река дренирует термальный водоносный комплекс, глубоко врезаюсь (до 600 м) относительно окружающих долину возвышенностей. Река Гейзерная, протянувшаяся по линии разломов СВ простирания и дуговых трещин, развитых по восточному обрамлению Узон-Гейзерной депрессии, прорезает толщи пород, залегающих здесь, и вскрывает верхнюю часть гидротермальной системы от зоны восходящего потока до зоны разгрузки латерального потока гидротерм. Благодаря глубокому дренированию всех водоносных комплексов, наблюдается разнообразие термо- и водопроявлений, таких как холодный источник (Лавовый) с расходом более 100 л/с, гейзеры и кипящие источники и газлирующие холодные струи у подножья вулкана Кихпинич.

Итак, геоморфологические особенности Гейзерной гидротермальной системы, обусловившие вскрытие верхней ее части глубоким врезом р. Гейзерной, явились причиной уникальной по форме проявления современной гидротермальной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверьев В. В.** Особенности динамики пароводяных скважин. — Тр. лаб. вулканологии. Вып. 18. 1960. С. 113—122.
- Аверьев В. В.** Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью. — В кн.: Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 118—128.
- 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.
- Есиков А. Д., Чешко А. Л., Сугробов В. М., Сугрובה Н. Г.** Изотопный состав природных вод Долины Гейзеров. Тезисы докладов к XI Всесоюзному симпозиуму по геохимии изотопов. М., 1986. С. 136—139.
- Иванов В. В., Невраев Г. А.** Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 168 с.
- Сугрובה Н. Г.** Некоторые закономерности режима гейзеров Камчатки. — Вулк. и сейсмология. 1982. № 5. С. 35—48.
- Устинова Т. И.** Камчатские гейзеры. М.: Географгиз, 1955. 120 с.

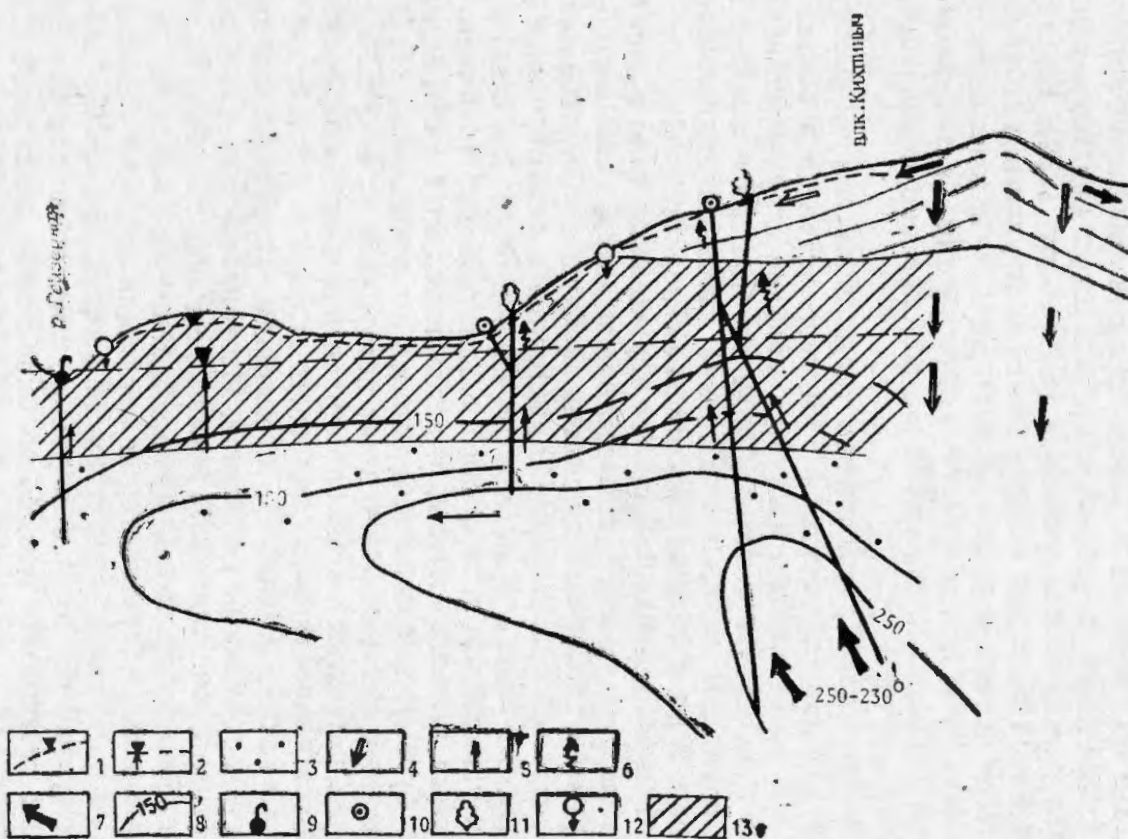


Рис. 3. Гидрогеологическая модель Гейзерной гидротермальной системы: 1—уровень холодных грунтовых вод; 2 — пьезометрический уровень напорных термальных вод; 3 — термальный водоносный комплекс; 4 — направление движения холодных инфильтрационных вод; 5 — направление движения термальных вод; 6 — движение пара и газа; 7 — восходящий поток гидротерм; 8 — изотермы ($^{\circ}\text{C}$); 9 — гейзеры; 10 — грязевые и водные котлы; 11 — паровые струи; 12 — нисходящие холодные источники; 13 — относительно водоупорные отложения

По многолетним измерениям общая величина разгрузки высокотемпературных вод (180°C) составляет 250—300 л/с, в том числе видимая разгрузка около 100 л/с. Это самый крупный на Камчатке вынос высокотемпературной воды на поверхность. Его можно объяснить тем, что река дренирует термальный водоносный комплекс, глубоко врезаясь (до 600 м) относительно окружающих долину возвышенностей. Река Гейзерная, протянувшаяся по линии разломов СВ простирания и дуговых трещин, развитых по восточному обрамлению Узон-Гейзерной депрессии, прорезает толщи пород, залегающих здесь, и вскрывает верхнюю часть гидротермальной системы от зоны восходящего потока до зоны разгрузки латерального потока гидротерм. Благодаря глубокому дренированию всех водоносных комплексов, наблюдается разнообразие термо- и водопроявлений, таких как холодный источник (Лавовый) с расходом более 100 л/с, гейзеры и кипящие источники и газлирующие холодные струи у подножья вулкана Кихпинич.

Итак, геоморфологические особенности Гейзерной гидротермальной системы, обусловившие вскрытие верхней ее части глубоким врезом р. Гейзерной, явились причиной уникальной по форме проявления современной гидротермальной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

Аверьев В. В. Особенности динамики пароводяных скважин. — Тр. лаб. вулканологии. Вып. 18. 1960. С. 113—122.

Аверьев В. В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью. — В кн.: Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 118—128.

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.

Есиков А. Д., Чешко А. Л., Сугробов В. М., Сугрובה Н. Г. Изотопный состав природных вод Долины Гейзеров. Тезисы докладов к XI Всесоюзному симпозиуму по геохимии изотопов. М., 1986. С. 136—139.

Иванов В. В., Невраев Г. А. Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 168 с.

Сугрובה Н. Г. Некоторые закономерности режима гейзеров Камчатки. — Вулк. и сейсмология. 1982. № 5. С. 35—48.

Устинова Т. И. Камчатские гейзеры. М.: Географгиз, 1955. 120 с.