

# ЖЕМЧУЖИНА КАМЧАТКИ – ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ



---

Научно-популярный очерк, путеводитель

ББК 26.89(2PS5)  
Ж53

Авторы: В. М. Сугробов, канд. геол.-мин. наук, лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники; Н. Г. Сугрובה, научный сотрудник; В. А. Дрознин, канд. техн. наук; Г. А. Карпов, докт. геол.-мин. наук; В. Л. Леонов, канд. геол.-мин. наук.

В книге всесторонне охарактеризовано уникальное явление природы – гейзеры и условия их появления в Долине гейзеров на Камчатке по результатам более чем 25-летних детальных исследований авторов. Кратко описываются физико-географические условия, термальные поля и источники района, геология и гидрогеология Долины, термальные поля и горячие источники в окружающем их ландшафте, механизм и режим действия гейзеров, состав термальных вод и гейзеритов. Рассмотрены геологические и гидрогеологические факторы, повлиявшие на образование и сход 7 июня 2007 г. в долине реки Гейзерной гигантского оползня, анализируются вызванные им изменения гидротермальной деятельности и режима гейзеров, дается прогноз возможных изменений в будущем.

Книга содержит 15 карт и схем, 5 таблиц и 114 оригинальных цветных фотографий. Может быть интересна географам, геологам, гидрогеологам, студентам соответствующих специальностей, всем любителям прекрасной природы Камчатки, а желающим посетить Долину гейзеров данное издание может служить доступным и достаточно полным путеводителем.

Составитель В. М. Сугробов

Ответственный редактор доктор геолого-минералогических наук Б. Г. Поляк

Автор фотографий Н. П. Смелов

В книге также использованы фотографии И. Ф. Делеменя, В. А. Дрознина, М. Я. Жилина, В. А. Злотникова, Я. Д. Муравьева, А. И. Никольского, В. М. Сугрובה

Фото на обложке: с. 1 – гейзер Большой, с. 4 – вулкан Большой Семячик. Вид от площадки лесного кордона в Долине гейзеров

Авторы выражают признательность администрации и сотрудникам Кроноцкого заповедника за содействие в проведении исследований на территории заповедника, результаты которых использованы при написании книги; вышеназванным коллегам, предоставившим свои фотографии.



Издание осуществлено при финансовой поддержке Проекта ПРООН/ГЭФ «Демонстрация устойчивого сохранения биологического разнообразия на примере четырех охраняемых природных территорий Камчатской области Российской Федерации, вторая фаза».

Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) является глобальной сетью ООН в области развития.

Мнение авторов публикации не обязательно отражает точку зрения ПРООН, других учреждений системы ООН и организаций, сотрудниками которых они являются.

Рекомендовано Министерством природных ресурсов Камчатского края.





## Предисловие

Читатель! Вы держите в руках замечательную книгу о самом известном и одновременно полном загадок природном объекте Камчатки – Долине гейзеров.

Ученые, отдавшие многие годы жизни ее изучению, обобщили в этой книге свои наблюдения. Геологическая история и история изучения, климат, флора и фауна, подробное описание гейзеров и механизмов их работы, – нет темы или вопроса, который они обошли бы стороной.

В то же время книгу в полной мере можно назвать научно-популярной. Сложный по своему содержанию текст читается, как роман, легко. Без сомнения, книга будет интересна как специалистам, так и всем любителям природы. Книга иллюстрирована рисунками, схемами и фотографиями.

Долина гейзеров находится в границах Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Пользуясь возможностью, хочу дополнить книгу небольшим экскурсом в историю этого древнего природного резервата.

На казалось бы простой вопрос: «Сколько лет Кроноцкому заповеднику?» – ответ дать непросто. Издревле окрестности Кроноцкого озера были стихийным заповедником. Коренное население Восточной Камчатки – ительмены обживали в основном устья нерестовых рек. Лосось и морские млекопитающие кормили их. Богатые пушным зверем кроноцкие уголья аборигенов мало интересовали.

Коренные жители Камчатки трепетно относились к окружающей их природе.

Ительмены испытывали священный ужас перед вулканами и всеми проявлениями вулканизма. Это служило дополнительной преградой хозяйственного освоения территории будущего заповедника, ведь здесь 12 действующих вулканов, а выходов пара и горячих источников без счета.

В 1882 году Военный губернатор Приморской области, в состав которой тогда входила Камчатка, утвердил проект Кроноцкого соболиного заповедника, предложенный зоологом Бенедиктом Ивановичем Дыбовским. Охрана его осуществлялась казачьими разъездами и самими охотниками. Позже, в первой трети XX в., заповедный статус этих земель подтверждался неоднократно специальными постановлениями местных властей. Поразительно, но в годы Гражданской

войны и разрухи в местной газете писали о культурном значении заповедника!

В 1934 году Кроноцкий заповедник стал государственным, получил финансирование из государственного бюджета, начал формироваться штат сотрудников, научных в том числе. Как будто волею Провидения в состав заповедника оказались включены еще не открытые исключительные природные объекты, в том числе и Долина гейзеров.

Дважды, в 1951 и 1961 годах, заповедник ликвидировали, но каждый раз он воссоздавался вновь. Ныне его площадь составляет 1 147 619,37 га. Это один из крупнейших природных резерватов в мире.

Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник внесен в Список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО в номинации «Вулканы Камчатки».

Вклад Кроноцкого заповедника в сохранение биологического разнообразия трудно переоценить.

Соболь, почти исчезнувший на Камчатке, ныне весьма распространенный на территории заповедника вид. Восстановлена численность морского бобра – калана. На территории Кроноцкого заповедника обитает единственная на Камчатке полноценная популяция дикого северного оленя.

В последние десятилетия фауна заповедника обогатилась такими видами, как белка, рысь, лось. В ряду ботанических объектов в первую очередь следует назвать рощу пихты грациозной, или камчатской, происхождение которой до сих пор остается загадкой. Исключительную ценность для науки представляют водоросли и микроорганизмы, обитающие в термальных водах.

Из объектов неживой природы на территории заповедника значимы все вулканы, ледники, проявления рудо- и минералообразования и, конечно же, гейзеры. Об этом говорит неослабевающий интерес к ним ученых и туристов.

«Как бы там ни было, – пишут авторы, – а Долина гейзеров остается прекрасным и самым притягательным уголком нашего полуострова, и хочется надеяться, что она такой останется навсегда».

Сотрудники Кроноцкого заповедника делают для этого все возможное.

**Тихон ШПИЛЕНКО,**  
Директор Кроноцкого государственного  
природного биосферного заповедника

## Введение

Неизгладимое впечатление оставляет панорама возвышенности с разнообразными по форме вершинами вулканов, которая открывается путнику, достигшему берегов Кроноцкого залива в районе пос. Жупаново. Слева хорошо заметен правильный конус действующего вулкана Карымского, справа от него – хребтообразный вулкан Малый Семячик, еще правее тянется цепь вершин вулканического массива Большой Семячик и наконец – вершины вулканов Узон и Кихпиньч. В ясную погоду в моменты активизации вулканической деятельности над вулканами Карымским, Малым Семячиком и очень редко над Большим Семячиком видны вертикально поднимающиеся парогазовые струи. Невольно хочется приблизиться к этим примечательным огнедышащим горам, увидеть и узнать о них все.

В длинной истории освоения и изучения Камчатки многие исследователи небезуспешно пытались это сделать. Первым был Степан Петрович Крашенинников, выполнивший начальное описание фумарол и термальных полей вулканов Центрального и Бурлящего (группа Большого Семячика) в период работы Первой Камчатской экспедиции Российской Академии наук в 1737–1740 гг. Затем эти места посетили: К. Дитмар (1851–1854 гг.), русский естествоиспытатель академик В. Л. Комаров (1909 г.), вулканолог Б. И. Пийп (1933 г.) и другие исследователи. Они немало бы удивились, если бы им сказали, что недалеко от их маршрутов к грозным вулканам, мощным фумаролам и горячим источникам в глубокой и относительно узкой долине небольшой реки существуют настоящие гейзеры. О них узнали после того как в апреле 1941 г. геолог Кроноцкого государственного заповедника Татьяна Ивановна Устинова обнаружила гейзер на р. Шумной, а затем множество их на берегах ее левого притока (ныне р. Гейзерная).

Сенсационное открытие гейзеров обогатило крупнейший в нашей стране Кроноцкий заповедник еще одной яркой достопримечательностью природы. Россия, таким образом, попала в скромный перечень стран, на территории которых действуют гейзеры. На Камчатке, правда, ко времени открытия Долины гейзеров были отмечены небольшие гейзеры и следы их деятельности в долинах рек Паужетки, Большой Банной и Киревны. Но об их существовании знали немногие, несмотря на то, что «...ключи бьющие как фонтаны

с великим шумом...» в двух первых местах описал еще С. П. Крашенинников в своей книге «Описание земли Камчатки».

Что же такое гейзеры? Где они встречаются? Прежде всего, следует заметить, что во всех районах распространения гейзеров они встречаются совместно с другими поверхностными проявлениями тепловых аномалий: горячими и кипящими источниками, паровыми струями, горячими водными и грязевыми котлами и озерами, нагретой до различных температур почвой. Нахождение гейзеров среди других поверхностных термопроявлений наводило на мысль, что гейзеры не существуют сами по себе. Так же, как и все другие виды так называемой гидротермальной активности, они связаны с более глубокими источниками тепловой энергии – гидротермальными системами. Последние характерны для зон современного или молодого вулканизма, приуроченных прежде всего к островным дугам Тихоокеанского кольца, вулканическому поясу Средиземноморья, молодым океаническим и континентальным рифтам. Изучение гидротермальных систем в названных регионах, в том числе и на Камчатке, с помощью глубоких буровых скважин однозначно подтвердило такую связь. А изучение режима гейзеров и геотермальных скважин показало в свою очередь, что гейзеры представляют собой особый вид кипящих (пароводяных) источников, которые, в отличие от последних, периодически извергают горячую воду и пар выше поверхности земли.

Режим их действия может быть охарактеризован последовательной сменой стадий излива воды, извержения (фонтанирования) пароводяной смеси, выделения пара (парения) и стадии полного покоя. Ниже будет изложен более подробно принцип работы гейзеров. Здесь же заметим, что действие истинного гейзера невозможно без существования подземных вод с температурой, превышающей точку кипения (грубо говоря, 100 градусов по Цельсию).

Название «гейзер» пришло из Исландии, где еще в XIII в. словом *geysir* (дословно – «внезапное излияние») обозначали извергающиеся время от времени фонтаны кипящей воды и пара (фото 1). Настоящие гейзеры как уникальное явление природы получили широкую известность после открытия в середине 19-го столетия многочисленных и великолепных



1. Типичный вид гейзера в момент извержения

гейзеров в Северной Америке и Новой Зеландии. Удивительную картину их деятельности, разнообразие мест расположения, легенды происхождения гейзеров можно найти в ярких описаниях путешественников, географов, геологов и даже в художественной приключенческой литературе. Достаточно вспомнить, например, описание гейзеров Новой Зеландии в популярной книге Жюль Верна «Дети капитана Гранта». Нельзя не назвать имена известных геологов, чьи профессиональные исследования заложили основу современных знаний о гейзерах. Это Е. Т. Аллен, А. Л. Дэй, Д. Е. Уайт, Т. Ф. В. Барт, Т. Эйнарссон, Е. Ф. Ллойд, Дж. Хели, Т. И. Устинова, С. И. Набоко, В. В. Аверьев и многие другие.

Большой и вполне объяснимый интерес к гейзерам привел к тому, что к ним стали относить многие поверхностные термопроявления, отдаленно напоминающие небольшие гейзеры. Часто гейзерами называют горячие и даже теплые источники или водные котлы с пузырьками выделяющегося газа, а то и просто газопаровые струи, обычно сопровождаемые запахом сероводорода. Это обстоятельство значительно увеличило число называемых стран и районов, где, возможно, существуют гейзеры. В действительности, помимо упомянутых выше стран, настоящие гейзеры так или иначе отмечены и более или менее изучены еще в 33 странах мира. Среди них следует назвать прежде всего Чили, Перу, Мексику, Китай, Индонезию, Японию, Папуа – Новую Гвинею, Эфиопию, Кению, где гейзеры достаточно четко выражены. Но все же буйство энергии земных недр при извержении больших истинных гейзеров сейчас можно видеть, по общему признанию, только в Исландии, в Йеллоустонском национальном парке

США, на северном острове Новой Зеландии и в России, на Камчатке.

Притягательная красота извержения гейзеров, когда в течение нескольких секунд или минут из-под земли поднимается на высоту в десятки метров фонтан кипящей воды и пара, вызывает всеобщее восхищение. В Долине гейзеров на Камчатке мы наблюдаем пароводяные фонтаны извергающихся гейзеров в сочетании с прекрасным горным ландшафтом. Украшают его своеобразные термальные поля гидротермально измененных пород, пестроцветных глин, многочисленные брызжущие и шумящие фонтанчики кипящих источников и небольших гейзеров, зеленоватые термофильные водоросли, журчащие холодные, теплые и горячие ручейки, водопады. Долина гейзеров заслуженно получила наименование жемчужины Камчатки.

Гейзеры как удивительное явление природы являются объектом пристального внимания специалистов и прежде всего тех, кто занимается проблемами использования глубинного тепла земли. Знание режима поверхностных термопроявлений, в том числе гейзеров, необходимо для изучения гидротермальных систем и геотермальных месторождений, содержащих огромные запасы горячей воды и пара. Извлеченные из недр буровыми скважинами, они обеспечивают работу геотермальных электростанций. Первой в нашей стране была Паужетская геотермальная электростанция на юге Камчатки. Заметим, кстати, что до начала строительства станции здесь действовали два небольших гейзера. Более крупная геотермальная электростанция построена сейчас вблизи г. Петропавловска-Камчатского в районе вулкана Мутновского (фото 2).

Предлагаемый краткий иллюстрированный рассказ о гейзерах позволит любителям природы, не бывавшим в Долине гейзеров, составить хотя бы частичное представление об этом чарующем уголке Камчатки. Для тех, кто посетит его, данное издание может, как мы надеемся, послужить доступным и достаточно полным путеводителем.



2. Мутновская геотермальная электростанция

© А. И. Никольский

## Краткая история открытия и изучения Долины гейзеров

История открытия больших гейзеров на Камчатке так же удивительна, как и сами гейзеры. Несмотря на то, что русские первопроходцы в XVII в. вышли к камчатским берегам Охотского моря и затем Тихого океана, понадобилось еще почти 300 лет освоения территории Камчатки, прежде чем были обнаружены гейзеры. Близко подходила к будущей Долине гейзеров экспедиция С. П. Крашенинникова, побывавшая на термальных полях Большого Семячика (см. рис. 1). Эти же места посетил К. Дитмар, который побывал в кальдере вулкана Узон и осмотрел термальные поля и горячие источники подножия Большого Семячика. Ближе всех исследователей к открытию гейзеров стояли академик В. Л. Комаров и Б. И. Пийп. В 1909 г. В. Л. Комаров, проходя по южному подножью вулкана Кихпиньч, назвал речку, стекавшую на северо-запад, «рекой большой фумаролы» из-за увиденных им мощных столбов пара в ее верховьях. В 1933 г. Б. И. Пийп, завершив экспедиционные исследования кальдеры Узон, спешно, из-за рано выпавшего снега, выходил на лошадях к берегу Тихого океана также по южному подножию вулкана Кихпиньч. Отсюда в верховьях небольшой реки, вероятно той же «реки большой фумаролы», он видел белые клубы пара, которые напоминали паровые струи Узона. Непогода и нехватка времени не позволили их осмотреть и, быть может, увидеть ниже, в среднем течении этой же речки, гейзеры.

Только в 1941 г., 14 апреля, Т. И. Устинова (фото 3), в сопровождении наблюдателя Кроноцкого заповедника А. П. Крупенина, исследуя долину р. Шумной, обнаружила гейзер. Как вспоминала позднее Т. И. Устинова, произошло это так. Получив задание на обследование рр. Шумной и Тихой, Т. И. Устинова и А. П. Крупенин выехали на собачьей упряжке по еще практически не тронутому таянием снегу к устью р. Шумной с тем, чтобы подняться к ее истоку, к Узону. Летом передвигаться здесь сложно из-за топкой равнины в низовьях и густого стланика на склонах гор. После передвижения на нарте по верховьям склонов пришлось идти на лыжах вдоль русла реки, так как проехать с нартой по долине незамерзающей Шумной невозможно. Двигаясь по долине, участники похода видели за крутыми поворотами реки облака пара, принимая их за уже из-

вестные фумаролы Узона. Однако последние все не появлялись. Надо было возвращаться в лагерь, весенний день был на исходе. Т. И. Устинова со своим верным спутником присели отдохнуть на правом берегу р. Шумной, как вдруг с противоположного берега в их сторону взметнулся фонтан кипящей воды и пара.

«Ошеломленные, – рассказывала Т. И. Устинова, – мы с испугом смотрели на это невиданное извержение, не зная, как спасаться, если горячая вода достигнет нас: на крутом склоне бежать было некуда. Извержение и грохот закончились так же внезапно, как начались. Над площадкой поднимался с минуту столб пара, затем и он исчез. Все стало тихо и спокойно, как будто ничего и не было. Мы сидели перепуганные и подавленные. Прошло несколько минут, прежде чем меня осенило, что это ведь гейзер! Гейзер, которого до сих пор никто никогда не видел на Камчатке». До окончания этого же дня первооткрывателям удалось пройти немного вверх по левому теплому притоку, впадающему в р. Шумную в 30 м выше обнаруженного гейзера. На этом участке не было ничего необычного.

Сообщение об открытии гейзера было опубликовано в газете «Камчатская правда» и перепечатано «Известиями» накануне Великой Отечественной войны. Изменившиеся с началом войны условия работы все же позволили организовать летом 1941 г. поход для специального обследования теплового притока



3. Татьяна Ивановна Устинова, 1976

р. Шумной. К долине неизвестной речки Т. И. Устинова и А. П. Крупнин теперь спустились от ее истоков, с юго-западного подножия вулкана Кихпиньч. Впечатление от увиденного при спуске в среднюю часть долины реки было ошеломляющим. На левом склоне вдоль реки были видны сплошь обнаженные, лишенные растительности участки с многочисленными пульсирующими кипящими источниками, прерываемые только активными площадками больших гейзеров. Неизвестная до того теплая река получила наименование Гейзерной, а первый увиденный Т. И. Устиновой гейзер на берегу Шумной был назван Первенцем (фото 4).



4. Гейзер Первенец. Первый гейзер, увиденный Т. И. Устиновой в апреле 1941 г.



5. Т. И. Устинова на пути в Долину гейзеров, 1945 г.

Последующие посещения Т. И. Устиновой долины р. Гейзерной состоялись в 1945 и 1951 гг. (фото 5). В работах приняли участие ее муж биолог Ю. В. Аверин, а в 1951 г. – известные гидрогеологи В. В. Иванов и Г. А. Голева (Гонсовская). Результаты этого начального периода изучения гейзеров Т. И. Устинова изложила в кандидатской диссертации и замечательной книге «Камчатские гейзеры», изданной в 1955 г. В ней впервые дана общая характеристика Долины гейзеров, подробно, по участкам, точно описаны все крупные гейзеры, их режим, гейзеритовые постройки, высказаны предположения о механизме гейзерного процесса. Названия, данные

Т. И. Устиновой крупным гейзерам и пульсирующим источникам, прочно закрепились в нашей памяти благодаря их соответствию наблюдаемой картине деятельности гейзеров. Например, Великан, Жемчужный, Сахарный, Тройной, Фонтан и т. д.

Естественно, после выхода в свет статей и книги Т. И. Устиновой о камчатских гейзерах росло с каждым годом число исследователей и любителей природы, которые устремлялись в Долину гейзеров. Среди них следует назвать вулканолога С. И. Набоко, дополнившую исследования Т. И. Устиновой описанием новых небольших гейзеров, записью режима гейзеров, а также характеристикой минералогического и химического состава гейзеритов. В работе А. А. Райк приведены данные подробной записи режима крупных гейзеров в летние месяцы 1960 г. В. Н. Виноградов впервые описал в 1960–1961 гг. гейзеры Бурлящий и Верхний и зафиксировал режим некоторых гейзеров в условиях зимы. Второй этап изучения Долины гейзеров начался в 1962 г., когда здесь работала экспедиция только что созданного в Петропавловске-Камчатском Института вулканологии и Геологического института Российской Академии наук под руководством В. В. Аверьева (фото 6). Исследования экспедиции были направлены на изучение гидротермальной системы в целом, существование которой и порождает гейзеры. Впервые была определена тепловая мощность системы, охарактеризованы геологические и гидрогеологические условия и гидрохимический облик холодных и горячих подземных вод. Результаты частично опубликованы участниками экспедиции В. В. Аверьевым, В. И. Белоусовым, Б. В. Ивановым, В. И. Кононовым.

Следующий этап относится к началу 1970-х гг., когда благодаря усилиям Института вулканологии и Кроноцкого заповедника изучение режима гейзеров и сопутствующей им геолого-гидрогеологической обстановки стало систематическим. В это время были составлены геологическая, геотермическая, гидрогеологическая, гидрохимическая



*б. Валерий Викторович Аверьев, известный исследователь Долины гейзеров, гидротермальных систем и гейзерного процесса*

карты, базирующиеся на впервые составленных топографических картах масштабов 1 : 10 000 и 1 : 2 000. Последние были составлены на основе полевых наземных и аэросъемок сотрудниками Новосибирского института аэрогеодезии и картографии под руководством Б. В. Селезнева. Конечно, на карты были нанесены гейзеры, пульсирующие источники, участки нагретой почвы и другие термопроявления. Хронометраж действия гейзеров начал проводиться с помощью самописцев уровня воды. Многолетняя инструментальная запись позволила достоверно установить среднюю продолжительность действия многих гейзеров и отклонения от этой нормы, а также изменения их режима, вызванные сезонными, в основном, колебаниями гидрометеоусловий и изменениями гидротермальной деятельности. В результате комплексных исследований была предложена модель формирования Гейзерной гидротермальной системы и ее геологическая история, развиты представления о механизме действия гейзеров. Эти работы выполнила группа исследователей: В. И. Белоусов, В. А. Воронков, Е. Н. Гриб, В. А. Дроздин, В. Л. Леонов, В. М. Сугробов, Н. Г. Сугрובה, Ю. М. Хаткевич и другие под руководством В. М. Сугрובה. Руководимые Р. А. Шуваловым химики В. К. Марынова, С. В. Сергеева, Н. А. Тюрина выполнили многочисленные химические анализы воды гейзеров.

В ходе названных специальных исследований на территории, казалось бы исхоженной вдоль и поперек, были сделаны и маленькие географические открытия. Ряд известных гейзеров был продолжен описанием и нанесением на карты небольших, но достаточно ярких их представителей (гейзеры Недоступный, Аверьевский, Теремок, Пятиминутка, Иванушка, Котлы, Верхний в русле и другие); обнаружена струя перегретого пара – «фумарола» с температурой 110 °С. Но самым неожиданным было обнаружение в верховьях р. Гейзерной среди термальных полей юго-западного подножия вулкана Кихпинич почти холодных рассредоточенных выходов углекислого газа и сероводорода. Обнаружил их впервые В. Л. Леонов, обратив внимание на необычное скопление погибших животных, медведей, лис, мелких

грызунов и нескольких птиц на небольшой площадке в устьевой части руч. Желтого. Вероятно, причиной их гибели было удушье при вдыхании названных газов, накопившихся в приземном слое воздуха. Это место сейчас получило известность под названием Долины смерти. Много полезных сведений о состоянии гейзеров дали исследователям в рассматриваемый период наблюдатели В. Н. Нечаев (Институт вулканологии) и В. Н. Николаенко (Кроноцкий заповедник). Отдельные исследования в Долине гейзеров были выполнены группой Г. С. Штейнберга по моделированию гейзерного процесса, Г. А. Заварзин и Г. А. Карпов выявили роль микроорганизмов в гидротермальном минералобразовании.

В популяризации Долины гейзеров большая роль принадлежит журналистам, краеведам, фотохудожникам. Следует назвать В. Т. Давыдова, одного из первых художников, запечатлевших еще в 1950 г. неповторимые виды р. Гейзерной. Зарисовки были опубликованы в журнале «Пионер» и попали на обложку книги Т. И. Устиновой. М. Я. Жилин составил несколько интересных репортажей и очерков о Долине гейзеров, о Т. И. Устиновой и А. П. Крупенине. Много полезной информации о гейзерах приводится в работе замечательного краеведа В. И. Семенова. Зрительные образы Долины гейзеров у многих связаны с оригинальными фотоработами В. Е. Гиппенрейтера, Ю. Я. Муравина, И. В. Вайнштейна, В. Н. Плоцкого, Н. П. Смелова, И. Е. Далецкой, А. М. Нечаева и других. В этот же ряд входит научно-популярный фильм Камчатской студии телевидения «Там, где зимует весна», снятый в 1979 г. Авторы фильма С. В. Верченко, В. И. Иванченко, Г. И. Нелипович, В. М. Шишков запечатлели в нем и Т. И. Устинову, приехавшую в Долину гейзеров (фото 7).



*7. Т. И. Устинова с группой исследователей Долины гейзеров 1970-х гг. Слева направо: В. М. Сугробов, В. И. Белоусов, Н. Г. Сугрובה, Т. И. Устинова, Н. Байбарза, В. Л. Леонов*

На всех этапах изучения гейзеров неоценимым вкладом, конечно, была трудная повседневная работа сотрудников Кроноцкого заповедника, и прежде всего – по охране этого удивительного края. В 1972 г. в Долине гейзеров Кроноцкий заповедник и Институт вулканологии организовали работу стационара, одной из задач которого были систематические наблюдения за режимом гейзеров. О некоторых результатах этих специальных исследований говорилось выше. Естественно, что, как и на других участках заповедника, основные усилия направлялись на изучение сообщества растений, животных и птиц, в данном случае формирующихся в специфических условиях современной гидротермальной деятельности. С этой целью в Долине гейзеров успешно про-

водили и проводят свои исследования специалисты заповедника А. Т. Науменко, Е. Г. Лобков, А. П. Никаноров, В. А. Николаенко и многие другие. Дирекции заповедника пришлось решать нелегкую проблему посещения туристами Долины гейзеров, являющейся составной частью заповедной территории. Частично вопрос был снят, когда были организованы вертолетные экскурсии, регламентирующие число одновременно находящихся здесь туристов. Передвижение туристов в Долине гейзеров ограничивается пешеходными тропами из дощатых настилов. Последнее, хотя и изменяет несколько характерный для Долины вид дикой природы, позволяет сохранить несмотря на нескончаемый поток туристов ландшафт, растительный и животный мир и главное – гейзеры.

## Краткий физико-географический очерк района и общая характеристика поверхностных термопроявлений

Долина гейзеров расположена в 180 км северо-восточнее г. Петропавловска-Камчатского среди вулканов, протянувшихся цепочкой вдоль восточного побережья Камчатского полуострова в пределах так называемого Восточного вулканического пояса. В современном рельефе этот район представляет собой высокое плоскогорье, над которым поднимаются на разную высоту различные по форме и возрасту вулканические сооружения, в том числе действующие вулканы Большой Семячик, Кихпиныч и Узон (рис. 1). Характерным элементом рельефа являются также вулканотектонические депрессии и кальдеры. Плоскогогорье, часто именуемое вулканическим долом или даже плато, протянулось здесь вдоль берега Кроноцкого залива примерно в десятикилометровом удалении от него и служит как бы пьедесталом для возвышающихся вулканических построек (фото 8). Именно они придают этой территории вид типичной горной области.

Плато имеет абсолютные отметки 600–900 м, а отдельные вершины (все вулканического происхождения) подняты над его поверхностью на несколько сот метров. Например, вулкан Бурлящий имеет отметку 1160 м, Центральный Семячик – 1300, Большой Семячик (Зубчатка) – 1720, Кихпиныч – 1552, Узон – 1610 и несколько удаленный вулкан Таунциц достигает высоты 2353 м. В целом этот район характеризуется аккумулятивным вулканическим типом рельефа, формирование которого связано в основном с накоплением вулканогенных отложений. Наиболее древние нижне-средне-плейстоценовые эффузивно-пирокластические толщи вскрыты, в основном, в бортах депрессий и кальдер, а молодые, верхнеплейстоценовые и голоценовые, слагают обширные плато, а также стратовулканы, шлаковые конусы, экструзивные куполы.

Эти геологические образования составляют верхнюю



© Сугробов В. М.

8. Вулканическое плато – пьедестал вулканических сооружений. В центре массив Кихпиныч–Жёлтая, слева на заднем плане вулкан Кроноцкий

часть мощного комплекса отложений, заполняющих обширный прогиб (грабен-синклиналь) Восточной Камчатки, который протянулся сорокакилометровой полосой от Авачинской группы вулканов на юге до Гамченского ряда вулканов на севере. Наиболее ярким элементом строения рассматриваемого района являются крупные кольцевые вулканотектонические депрессии, и, в частности, Узон-Гейзерная и Семячикская (рис. 1). Их формирование является главным стержнем геологической истории этого края и возникновения его основных геологических структур.

Непосредственно предшествующие формированию вулканотектонических депрессий породы так называемого «до-кальдерного комплекса» являются преимущественно вулканогенными образованиями, связанными с извержениями древних вулканов, в том числе больших щитовых базальтовых вулканов. На большей части района они перекрыты молодыми отложениями и сейчас видны в обрывах долин крупных рек, например в среднем течении р. Старый Семячик (хр. Борт), на р. Шумной ниже впадения Гейзерной и на северных внешних склонах кальдеры Узон.

Особая страница геологической истории связана с кальдерообразованием. В ходе его происходили мощные эксплозивные извержения и формирование обширных полей пирокластических отложений с преобладанием так называемых игнимбритов. Они заняли значительную часть территории, включая побережье океана coast of ocean, и, заполнив неровности рельефа, создали платообразные равнины. Одновременно с выбросом на поверхность огромного количества пирокластического материала, приведшего к опустошению магматических камер, произошло проседание поверхности по кольцевым разломам. Так возникли кальдеры Узонская, Гейзерная и затем Узон-Гейзерная депрессия в целом. Это случилось приблизительно 80–40 тыс. лет назад в верхнеплейстоценовое время. Сформированные депрессии и кальдеры в последующий этап геологической истории заполнились водоемами и, соответственно, озерными осадками. В результате вулканической деятельности, проходившей в это же время в районе вулканотектонических депрессий, возникли разнообразные по составу и форме вулканические постройки. В Узон-Гейзерной депрессии это были преимущественно экструзивные куполы кислого состава, в пределах Больше-Семячикской структуры формировались и стратовулканы, и экструзивные куполы. За границами депрессий образовались крупные стратовулканы Тауншиц, Кихпинич и серия невысоких шлаковых и лавовых конусов. Время формирования «посткальдерного комплекса» охватывает вторую половину верхнего плейстоцена-голоцена, то есть последние примерно 40 тыс. лет геологической истории.

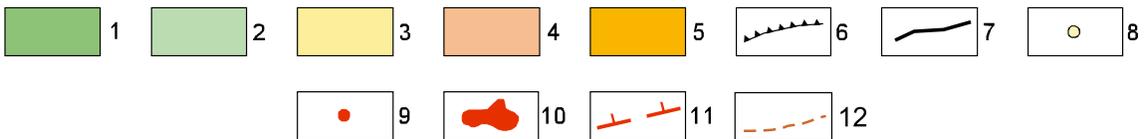
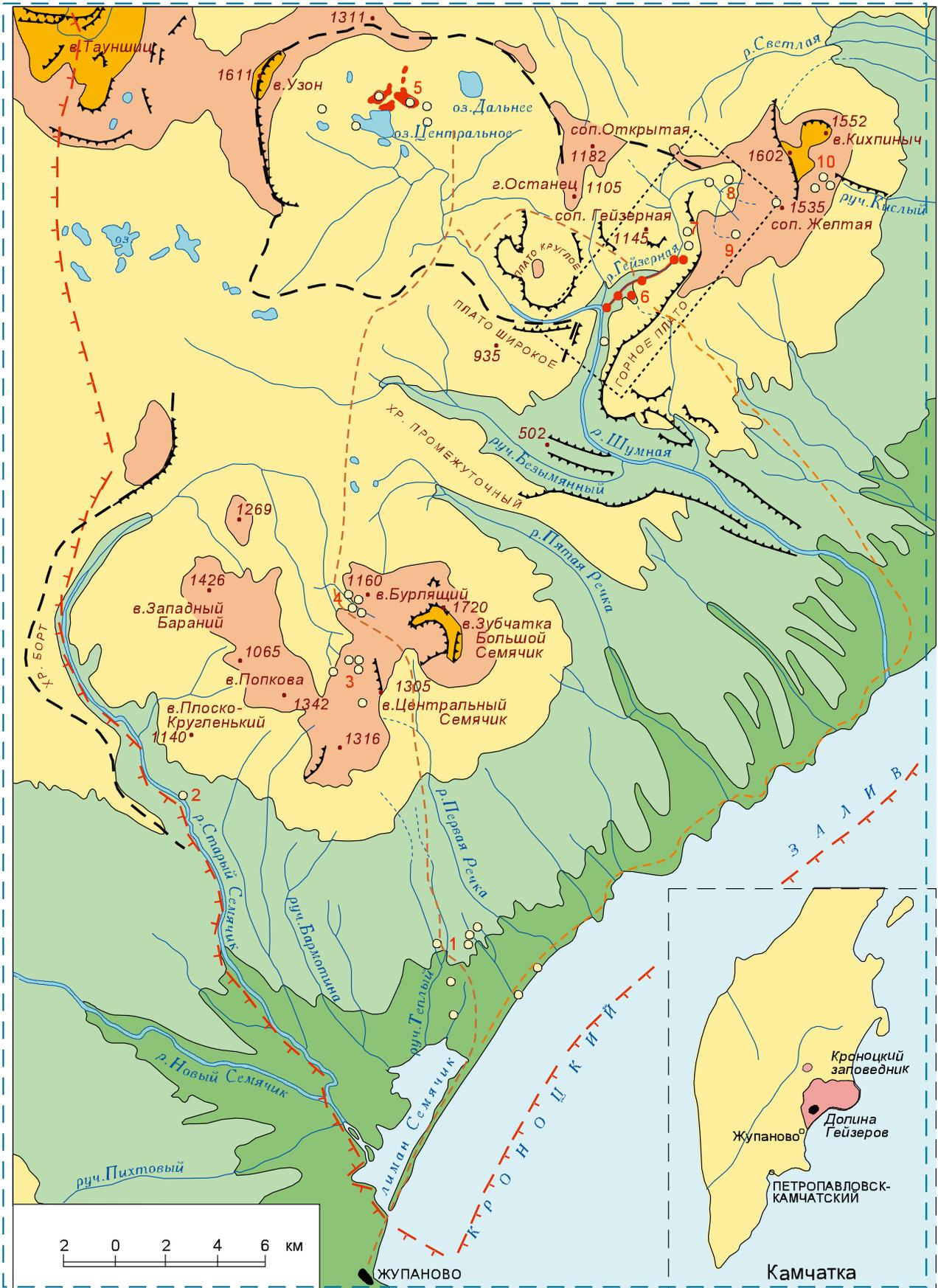
Отличительной чертой этого времени было преобладание выноса и накопления на поверхности вулканического материала, что нашло свое отражение в современном рельефе. Особенно это ярко проявилось в районе современного Большого Семячика, где пемзовые и игнимбритовые толщи вместе с возникшими вулканами Западным и Восточным Бараньим, Попкова, Проблематичным, Зубчаткой, экструзивными куполами и лавовыми потоками заполнили кальдеру и ее окружение и сформировали собственно массив Большого Семячика (фото 9). В том случае, когда внутри вулканотектонических депрессий и кальдер вулканизм



9. Группа вулканов Большого Семячика. Вид с юго-запада

развивался незначительно в виде небольших дацитовых и риолитовых экструзий, их кольцевая структура четко прослеживается и сейчас. Пример тому – кальдера Узон. Разрушающие процессы водной и ледниковой эрозии усилили формы вулканического рельефа, оставив свои следы на склонах наиболее высоких стратовулканов в виде глубоких рытвин, каров и барранкосов. В подобных им ложбинах существуют современные ледники, наблюдаемые в настоящее время на вулканах Зубчатка и Кихпинич (фото 10).

Очертания вулканических гор подчеркивают и долины рек, которые глубоко врезаются в платообразный фундамент нагорья благодаря стремительному течению, многоводности (особенно в период снеготаяния) и, конечно, из-за относительной «мягкости» пирокластических пород, слагающих фундамент. Протяженность рек невелика и достигает первых десятков километров. Две самые большие водные артерии, Старый Семячик и Шумная, имеют длину, соответственно, 47 и 40 км. В среднем течении ширина этих рек достигает 20 м, глубина до 1,5 м. Скорость течения изменчива, в средней части равняется 2–4 м/с, в низовье – 0,5–1 м/с. Реки, за исключением участков прибрежной равнины, изобилуют перекатами, стремнинами, малыми и большими водопадами и ограничены крутыми и обрывистыми берегами. Долины рек углублены относительно поверхности плато на 400–600 м, ширина долин изменяется от 1 до 3 км, местами долины приобретают вид каньонообразных ущелий.



Вулканические сооружения исполняют роль своеобразной преграды на пути стока воды и реки, как бы обтекают крупные элементы вулканотектонических структур. Например, рр. Старый Семячик и Шумная. Первая, начинаясь в центральной части массива Большой Семячик, течет на северо-запад, затем, поворачивая на запад и юго-восток и огибая вулканические постройки, прокладывает русло по кольцевому раз-

лому, ограничивающему кальдеру Большой Семячик с юго-запада. Река Шумная в верховье плавно течет по выровненному днищу кальдеры Узон, затем, перед участком прорыва древнего озера через юго-восточный борт Узон-Гейзерной депрессии, срывается водопадом высотой почти 100 м (фото 11) и через узкое ущелье несет свои воды в Кроноцкий залив. Влияние вулканической и гидротермальной деятельности выражается



10. Вулкан Большой Семячик (Зубчатка). В центре ледник Кропоткина

**Рис. 1. Орогидрографическая схема и основные термопроявления Семячикского геотермального района**

Шкала высот над уровнем моря: 1 – 0–100 м; 2 – 100–500 м; 3 – 500–1000 м; 4 – 1000–1500 м; 5 – выше 1500 м;

6 – обрывы;

7 – эрозионные уступы Семячикской кальдеры и Узон-Гейзерной депрессии;

8 – современные термопроявления: 1 – Нижне-Семячикские горячие и теплые источники, 2 – Средне-Семячикские горячие источники, 3 – парогазовые струи и термальные поля вулкана Центральный Семячик, 4 – парогазовые струи термального поля вулкана Бурлящий, 5 – термальные поля, горячие источники, парогазовые струи, термальные озера и котлы кальдеры Узон, 6 – Долина гейзеров, 7 – парогазовые струи и источники Верхне-Гейзерного термального поля, 8–10 – термальные поля, парогазовые струи и фумаролы вулканического массива Кихпинич–Желтая;

9 – гейзеры;

10 – большие участки нагретой почвы с температурой более 20 °С на глубине 0,5–1 м;

11 – южная граница Кроноцкого государственного заповедника (на врезке выделен красным цветом);

12 – схема старой пешеходной тропы. Прямоугольник на карте – граница обзорной карты Долины гейзеров (см. рис. 2)



11. Низовье стометрового водопада на р. Шумной выше слияния с р. Гейзерной



12. Каменная береза (береза Эрмана) на переднем плане и ольховый стланик на склонах вулканического плато



13. Долина руч. Безьянного

еще и в том, что многие ручьи и отдельные участки рек, подпитываясь термальными водами, имеют повышенную температуру, специфический химический состав и мутность воды за счет увеличенного содержания взвесей, в частности серных, попадающих в водотоки при размыве измененных глинистых пород. Это руч. Горячий Ключ, Бармотина, Желтый (верховье Гейзерной), Кислый, р. Гейзерная и другие.

Несмотря на достаточно густую гидрографическую сеть в летнее время на поверхности вулканического дола редко можно встретить ручьи и водоемы, так как талые воды и дождевые осадки поглощаются хорошо проницаемыми рыхлыми отложениями, и многочисленные по весне водотоки превращаются в «сухие» реки. Крупные озера, если исключить лиман Семячик, имеют вулканогенную природу. Холодное неглубокое оз. Центральное в кальдере Узон унаследовало бывший здесь обширный водоем, а оз. Дальнее возникло на месте маара, воронки одноактного взрывного извержения. Его глубина достигает 25 м. Более мелкие безымянные озера представляют собой, как правило, бессточные впадины, заполненные талыми водами и осадками, большинство из которых пересыхают к концу лета.

Распределение растительного покрова заметно уя-

вляется с высотой местности. Прибрежные равнины занимают разнотравные луга, в долинах рек пойменные леса представлены ольхой, зарослями ольхового и кедрового стланика и высокотравья, среди которого преобладают шеломайник, вейник, хвощи. Склоны вулканического нагорья до высоты приблизительно 600 м покрыты березовым лесом, преимущественно каменно-березовым (береза Эрмана), с участками кедрового и ольхового стланика, занимающего обычно верхние части склонов долин ручьев и рек (фото 12, 13). Выше у подножия вулканов прослеживается пояс кустарниковых зарослей стланика с отдельными полянами лугов и горных тундр. Водораздельные пространства нагорья и собственно вулканические постройки характеризуются разреженным растительным покровом. Наиболее часто встречаются горные тундры со стелющимися низкорослыми зарослями багульника, голубики стланиковой формы и развитием мохово-лишайникового покрова, редких кустов кедрового стланика. Следует отметить, что на этом участке Кроноцкого заповедника встречаются редкие виды растительного мира, к которым относятся пихта камчатская (ее роща расположена на правом берегу устьевой части р. Семячик) и особые растительные группировки вблизи поверхностных термопроявлений.

## Поверхностные термопроявления

Своеобразие ландшафта района вместе с действующими и молодыми вулканами заключается в существовании многочисленных и разнообразных поверхностных термопроявлений. Все они практически приурочены к трем основным участкам развития современной гидротермальной деятельности: к вулканическому массиву Большой Семячик, кальдере Узон и вулкану Кихпинич. Эти места сосредоточения наблюдаемой гидротермальной активности относятся к трем гидротермальным системам – Семячикской, Узонской и Гейзерной, которые объединены в Семячикский геотермальный район.

Что же такое **гидротермальная система**? В настоящее время этим термином обозначают участки распространения высокотемпературных подземных вод, заключенных в пределах определенных геологических структур и нагреваемых теплом неглубоко залегающих магматических очагов. Тепловой поток здесь в 40–100 раз превышает глубинный средний тепловой поток, который характерен для обычных условий. Нагретая до высокой температуры (200–350 °С) вода находится под соответствующим глубине их залегания гидростатическим давлением, и поэтому в большинстве случаев представлена жидкой фазой. Такие системы относятся к гидротермальным системам с преобладанием воды. В гидротермальных системах с преобладанием пара вода находится преимущественно в паровой фазе, так как давление

недостаточно велико, чтобы предотвратить парообразование в водоносных слоях.

Движение воды в системах определяется, с одной стороны, перепадом гидростатического давления в зоне водного питания (обычно приподнятые участки рельефа, в частности подножие вулканических построек) и в зоне так называемой разгрузки, являющейся, как правило, пониженными участками рельефа. С другой стороны, различием в плотности нагретой и менее нагретой массы воды. В гидротермальных системах первого типа напорный уровень подземных вод в пониженных участках рельефа превышает его отметки, и поэтому вода по трещинам в верхней водонепроницаемой кровле поднимается на поверхность и происходит, как говорят специалисты, разгрузка подземных вод. Высокотемпературные воды в зоне разгрузки в условиях понижения давления могут вскипать на различных глубинах, что приводит к появлению на поверхности не только водных горячих или кипящих источников, но и гейзеров, паровых струй, грязевых и водных кипящих котлов, нагретого до различных температур грунта. Отмеченное разнообразие термопроявлений свойственно именно системам с преобладанием воды, примером которых в нашем случае является Гейзерная гидротермальная система.

Рассмотрим виды термопроявлений. **Источники водные** – естественный выход на поверхность подземных вод. По температуре источники могут быть

холодными, теплыми, горячими или кипящими (пароводяными), если температура подземных вод у поверхности достигает более 100 °С. Характерным признаком последних является наряду с кипением воды интенсивное выделение пара. Разновидность кипящих источников – *гейзеры*. Источники могут быть восходящими и нисходящими. Восходящие источники образованы выходами на поверхность напорных, находящихся под давлением подземных вод, нисходящие источники – это истечение безнапорных грунтовых вод. По характеру режима расхода или дебита источники делятся на постоянные, переменные или пульсирующие.

**Паровые струи** – естественные концентрированные выходы пара на поверхность. Обычно наблюдаются на возвышенных участках рельефа и часто сопровождаются выделением газа. В случае интенсивного его выделения струи именуются парогазовыми. В гидротермальных системах это преимущественно выходы насыщенного пара, то есть его температура равна точке кипения воды на данной высоте местности. Мощные парогазовые струи, особенно если их температура превышает точку кипения (перегретый пар), называют иногда фумаролами по аналогии с концентрированными выходами пара и газа из трещин в кратерах или на склонах активных вулканов.

**Грязевые котлы** – воронки на поверхности микрорельефа, заполненные жидкой глинистой массой, представляющей собой смесь поверхностных вод с конденсатом пара и глинистыми частицами. Температура смеси изменяется в зависимости от соотношения поверхностной воды и поступающего по трещинам из глубины пара. Часто температура в них достигает точки кипения, и тогда можно наблюдать характерное бульканье и выплескивание жидкой грязи из бессточной, как правило, воронки (фото 14). Грязевые котлы образуются в местах, где под действием пара горные породы химически разлагаются и превращаются в пестро окрашенные глины. Из-за



14. Грязевые котлы-близнецы в Долине гейзеров – характерный пример термопроявлений типа кипящих грязевых водоёмов

изменяющегося количества поверхностной воды, падающей в котлы, состояние их меняется в течение года. Наиболее активный «горячий» и «сухой» вид они имеют поздним летом. Зимой и весной котлы часто заполнены водой разной мутности и температуры.

**Котлы водные, горячие или кипящие**, в сущности, представляют собой разновидность грязевых котлов, стенки которых сложены твердыми породами. В них отсутствует глинистая масса, а заполняющая котлы вода чаще всего также образована смешением поверхностных вод и конденсата пара. Иногда несколько рядом расположенных котлов объединены общей водной поверхностью, создавая различных размеров термальные озера. Уровненный и температурный режимы имеют сезонный характер и зависят от количества поступающей в водоемы поверхностной воды.

**Нагретый и парящий грунт** – верхний слой грунта, включая почву, нагретый до температуры выше среднегодовой температуры при выходе горячей воды и пара на поверхность. Температура поверхности на таких участках весьма изменчива и достигает максимально температуры кипения воды на данной высоте. Участки нагретого грунта выделяют по температуре, измеренной на глубине 0,5–1 м, чтобы исключить влияние сезонных, суточных и годовых изменений температуры воздуха и других поверхностных факторов (например, осадков, ветра и т. д.). Самые высокотемпературные зоны легко обнаруживаются по площадному парению, особенно заметному в безветренную пасмурную погоду, и приурочены к местам непосредственного выхода пара на поверхность. Нередко в центре таких зон находятся сосредоточенные выходы горячей воды и пара: паровые струи, кипящие водные и грязевые котлы, кипящие источники и гейзеры. Менее нагретые участки окружают этот центр активности, образуя замкнутые, распределенные по температуре полосы. Чаще всего нагретый грунт представлен красной или пестроцветной глиной, которая так же, как в случае с грязевыми котлами, образуется при взаимодействии горных пород с паром и горячей водой. Температурная зональность, свойственная участкам нагретого грунта, достаточно хорошо прослеживается по характеру поверхности. Зона с температурой грунта менее 20 °С на глубине 1 м, постепенно переходящая в обычную «холодную» почву, имеет развитый травяной покров. Зоны с температурой 50–70 и более 70 °С на глубине 1 м выделяются открытой глинистой поверхностью с отдельными пятнами низкотравной растительности и преимущественно мхов (фото 15). Температура поверхности здесь изменяется от 30 °С до практически температуры кипения (на площадках парящего грунта). Следует заметить, что явление нагретого и парящего грунта не менее удивительно, чем водные и грязевые кипящие термопроявления, и, конечно, наблюдается оно только в пределах гидротермальных систем и активных вулканов.

Группы термопроявлений, расположенные более или менее компактно, образуют **термальные поля**.



15. Участки нагретого грунта хорошо выделяются по концентрической зональности растительного покрова или его отсутствию

Пространственное положение термальных полей, их число, конфигурация, размеры и преобладающий вид

термопроявлений определяются типом гидротермальной системы, ее мощностью и особенностями геологического строения. Термальные поля всех систем, имея общие характерные черты, обусловленные однотипностью термопроявлений, вместе с тем отличаются друг от друга за счет преобладающего развития одного или нескольких видов поверхностной гидротермальной активности. Так, в отличие от Гейзерной гидротермальной системы термальные поля Семячикской системы (с преобладанием пара) характерны тем, что здесь основными термопроявлениями являются мощные газопаровые струи, парящие площадки, грязевые и водные кипящие котлы, но полностью отсутствуют источники глубинных подземных вод.

Термальные поля в сочетании с оригинальными формами вулканического рельефа и окружающей растительностью создают неповторимый ландшафт на участках каждой из гидротермальных систем района: Гейзерной, Узонской и Семячикской.

## Термальные поля и горячие источники Семячикского района

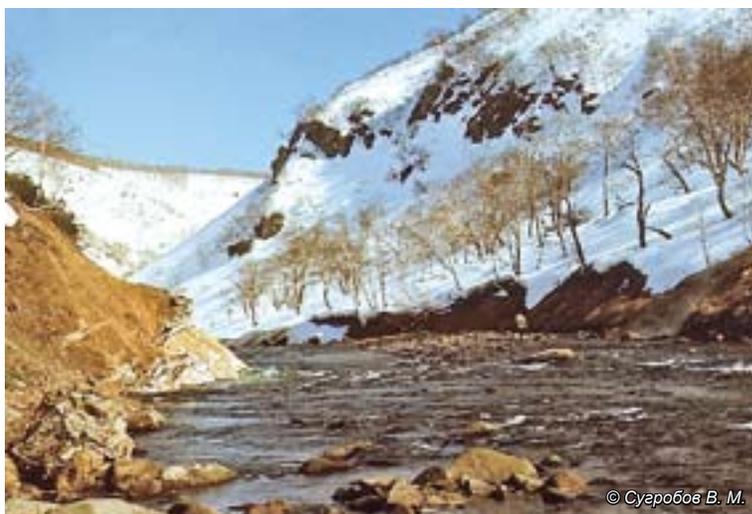
**Термопроявления вулканического массива Большой Семячик (Семячикской системы).** Все известные здесь поверхностные термопроявления приурочены к группе разнообразных вулканических построек, образующих массив Большой Семячик. В настоящее время считается, что они связаны с гидротермальной системой с преобладанием пара, сформированной в недрах под вулканическим массивом. Подробная характеристика термальных полей дана В. И. Влодавцем, В. В. Аверьевым и Е. А. Вакиным.

У юго-восточного подножия массива Большой Семячик, в 3 км от Тихоокеанского побережья и в 14 км севернее пос. Жупаново находятся самые популярные источники данной группы – *Нижне-Семячикские горячие ключи*. Впервые упомянутые С. П. Крашенинниковым, они подробно исследованы в 1933 г. и описаны Б. И. Пийпом. Выходы горячей воды наблюдаются в верховье небольшой долины. Стекающая вода образует вначале маленький горячий ручеек, становясь постепенно многоводным, типично горным ручьем, изобилующим красивыми и, главное, теплыми водопадами. На протяжении более чем 150 м видны по слабому парению выходы воды в ручье, получившем и соответствующее название – Горячий Ключ. Купание в многочисленных ваннах и под струями теплого водопада доставляет истинное наслаждение. Вода источников по химическому составу – гидрокарбонатно-сульфатная, магниево-кальциевая с общей минерализацией 1,6 г/л. Температура воды на выходе составляет 49 °С, в ручье – 38–40 °С с уменьшением по течению ручья. Расход (дебит) отдельных источни-

ков достигает 5 л/с, а ручья в верховье – около 70 л/с.

На участке Нижне-Семячикских источников (1 на рис. 1) имеется еще несколько выходов вод с меньшей температурой и минерализацией: в соседних с Горячим Ключом долинах руч. Теплого и Лиманного; в пляжной зоне берега Кроноцкого залива между устьями р. Первая Речка и руч. Горячий Ключ.

*Средне-Семячикские источники* (2 на рис. 1) расположены в несколько выравненной здесь долине среднего течения р. Старый Семячик, в 2,5 км южнее вершины вулкана Плоско-Кругленького. Обнаружены и впервые описаны совсем недавно, в 1984 г., О. Н. Егоровым и Я. Д. Муравьевым. Источники наблюдаются в прирусловой части реки на обоих берегах (фото 16). Самые верхние выходы воды отмечены



16. По обоим берегам р. Старый Семячик разгружаются термальные воды – Средне-Семячикские источники



17. Поле гидротермально-измененных глин и Черное озеро в кратере вулкана Центральный Семячик



18. Парогазовые струи (фумаролы) в кратере вулкана Центральный Семячик

на левом берегу под обрывом, представляющем собой часть экстрезии. Отсюда они прослеживаются вниз по течению реки на расстоянии приблизительно 350 м. Полоса выходов воды заметна по появлению зеленых водорослей, белесых налетов минеральных

новообразований и старых травертинов. Дебит источников небольшой, суммарная разгрузка оценивается нами в 14 л/с, дебит отдельных выходов составляет всего 0,3–0,5 л/с, максимальная температура (98 °С) достигает практически точки кипения на данной высоте местности относительно уровня моря (около 270 м). Состав воды – хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый с общей минерализацией 1,1 г/л. Вблизи источников на левом берегу, уже на выровненной поверхности вулканического дола находится небольшой домик Кроноцкого заповедника, рядом с которым проходит тропа от лимана Семячик к вулкану Бурлящему и Синему долу.

Термальные поля вулкана Центральный Семячик (3 на рис. 1) занимают северо-западную часть вулкана, располагаясь в разрушенном северном кратере и южном старом кратере вулкана. Термопроявления представлены грязевыми и водными кипящими котлами, небольшими струйками пара, участками парящего и нагретого грунта. Термальное поле северного кратера протянулось почти на 500 м. С севера на юг его пересекает небольшой ручеек, который вместе с притоками расчленяет поверхность поля, придавая ему вид слегка всхолмленной равнины. Ландшафт этого участка имеет своеобразный, какой-то тревожный, неземной характер. Яркие желтые пятна гидротермально-измененных глин, местами охваченных белой дымкой выделяющегося пара с запахом сероводорода, кипящие водные котлы, полное отсутствие растительности, и все это – на фоне живописных стенок разрушенного кратера (фото 17, 18). Один из элементов термального поля – знаменитое Черное озеро, водоем размером 50 x 20 м, заполненный горячей водой, над поверхностью которого вздымаются кипящие фонтанчики. Черный цвет воды обусловлен содержанием тонкодисперсного пирита. Это удивительное явление природы впервые описал С. П. Крашенинников: «Сии ключи в том от всех других отменны, что по поверхности их плавают черная китайским чернилам подобная материя, которая с великим трудом от рук отмывается. Впрочем находится там и свойственная всем горячим ключам разноцветная глина, також известь, квасцы и горючая сера. Во всех вышеописанных ключах вода гу-

ста, и протухлыми яйцами пахнет». В южном кратере Центрального Семячика гидротермальная активность проявляется в прогреве отдельных участков грунта, максимальная температура которого достигает 70–90 °С на глубине 1 м.

Термальные поля вулкана Бурлящего (4 на рис. 1) наиболее ярко выражают сейчас поверхностную гидротермальную деятельность Семячикской системы. Большая часть термопроявлений объединена в два термальных поля: Верхнее и Парящая долина. Первое расположено на левом склоне ручья, являющегося правым истоком р. Старый Семячик (фото 19). Размеры его при температуре более 20 °С на глубине одного метра составляют примерно 200 x 500 м. В отличие от других полей гидротермальной системы здесь, наряду с грязевыми и водными кипящими котлами, струями насыщенного пара и парящим грунтом, имеются мощные «перегретые» паровые струи с температурой на выходе до 137 °С. Термальное поле Парящая долина находится в расширенной части долины этого же ручья и имеет более или менее изометричную форму размером 250 м в диаметре. Максимальная температура пара на поверхности достигает точки кипения на данной высоте – 97 °С. Кроме того, на вышеназванных термальных полях Центрального Семячика, вулкане Бурлящем и вблизи них встречаются теплые, реже горячие источники, образованные при смешении конденсата пара и поверхностных вод. Их отличает от «настоящих» источников, связанных с разгрузкой глубинных подземных вод, маленький обычно дебит (0,2–0,5 л/с), низкая минерализация и кислый сульфатно-натриевый состав воды. Заметим, кстати, что иногда термопроявления Бурлящего и Центрального Семячика называют Верхне-Семячикскими источниками, что, вероятно, не совсем точно.

Следует отметить, что напротив Верхнего термального поля Бурлящего на левом берегу ручья расположен небольшой домик Кроноцкого заповедника. Отсюда продолжается пешеходная тропа к кальдере Узон и Синему долу.

**Термопроявления кальдеры Узон (Узонской системы).** Расположены термопроявления (5 на рис. 1) на относительно плоском дне ее чашеобразной котловины, имеющей размеры 8 x 12 км. По отношению к поверхности вулканического плато оно опущено на 400–500 м и имеет отметки 650–700 м. Гидротермальная деятельность сосредоточена в районе оз. Центрального. Первое систематическое описание термопроявлений было сделано Б. И. Пийпом в 1934–1937 гг., но наиболее полная характеристика дана позднее, в 1966–1976 гг., Г. Ф. Пилипенко, С. И. Набоко и Г. А. Карповым. Термальные поля, среди них самые крупные Восточное и Фумарольное, протянулись полосой широтного на-



19. Парогазовые струи (фумаролы) Верхнего термального поля вулкана Бурлящего



20. Кальдера вулкана Узон

правления на расстояние 2,5 км. Наиболее характерные термопроявления – это разнообразные горячие водные и кипящие котлы, воронки, которые местами объединены общей водной поверхностью в термальные озера (фото 20). Самое большое из них – Фумарольное, заполняющее котловину размером 300 x 600 м. Водная гладь его и других озер скрывает гидротермальные воронки диаметром от нескольких до 100–150 м,

хорошо видимые с некоторой высоты по различному цвету воды. Большая часть водной массы озер и котлов образована при смешивании холодных поверхностных вод и конденсата пара. Некоторые озера и котлы служат также местом разгрузки горячих или перегретых хлоридно-натриевых подземных вод. Водоемы, питаемые ими, можно отличить по большему стоку (расходу) и, конечно, с помощью химического анализа – вода в них имеет существенно хлоридный состав. Возможность смешения вод, характеризующихся различным составом и температурой, является причиной разнообразия типов наблюдаемых на поверхности вод – от хлоридно-натриевых с минерализацией до 4 г/л и до гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатно-натриевых. Здесь, у северо-западного подножия г. Белой имеется источник минеральной воды типа нарзана.

Максимальная температура термопроявлений достигает температуры кипения (около 98 °С), хотя многие имеют температуру в диапазоне от макси-

мальной до 10–20 °С. Общий вынос тепла термопроявлениями Узона – 268 МВт.

Многочисленные озера с различной температурой, паровые струи и источники, грязевые и водные котлы, чередующиеся с участками разнотравья и зарослями кедрового и ольхового стланика, отдельными рощицами каменной березы, и все это в обрамлении обрывов стенок кальдеры придает живописный, неповторимый облик этому примечательному уголку Камчатки.

Недалеко от небольшого термального озера – Банного – расположен домик, стационар Института вулканологии и Кроноцкого заповедника.

И, наконец, термальные поля и гейзеры Гейзерной гидротермальной системы, являющиеся предметом данного издания, подробно рассмотрены ниже. Сейчас лишь назовем их. Гейзеры и основные термальные поля Долины гейзеров (6 на рис. 1), Верхне-Гейзерное поле (7), источники верховьев р. Гейзерной (8), термопроявления сопки Желтой (9) и вулкана Кихпинич (10).

## Общая характеристика Долины гейзеров

Чтобы увидеть гейзеры, сосредоточенные в низовьях р. Гейзерной, необходимо приблизиться к ним вплотную, спустившись с верховий реки или по крутым склонам долины с окружающих гор. Самый легкий путь, конечно, прилететь на вертолете, как это делают сейчас многие счастливые посетители Долины гейзеров. Можно попасть в Долину гейзеров и пешим ходом по тропам, которые проложили первые, после Т. И. Устиновой, исследователи гейзеров и туристы. Маршрут начинается в бывшем пос. Жупаново (см. рис. 1). Одна из троп идет по берегу Тихого океана, а после переправы через р. Шумную поворачивает к горному плато (фото 21). Тропа заканчивается сложным спуском к левому берегу р. Гейзерной по долине руч. Водопадного. Другая тропа идет от Семячикского лимана на север к Нижне-Семячикским источникам и затем к перевалу между вулканами Зубчатка и Центральный Семячик. Обходя с юга вулкан Бурлящий, она ведет к Узонской кальдере. Далее тропа идет по лево-

бережью Шумной между сопкой Гейзерной и плато Круглым и выходит к правому берегу Гейзерной. Этим пешеходным путем пользовалась экспедиция, руководимая В. В. Аверьевым, в период ее работы в 1962–1966 гг. (фото 22). В эти же годы по этому пути был проложен пешеходный кольцевой туристский маршрут: Жупаново – Семячикский лиман – вулкан Бурлящий – Долина гейзеров – устье Шумной – Жупаново. В настоящее время передвижение по нему туристов возможно в исключительных случаях с разрешения администрации заповедника.

Выберем дорогу, которой прошла Т. И. Устинова, совершая свой второй поход к гейзерам в июле 1941 г. от верховий р. Гейзерной вниз по ее течению, и познакомимся с окрестностями Долины гейзеров, бассейном Гейзерной.

Река Гейзерная берет свое начало на юго-западных склонах сложно построенного вулканического массива Кихпиныч–Желтая (фото 23). Если взглянуть на карту

района, то можно увидеть, что в плане река напоминает латинскую букву S, ось которой вытянута и направлена на юго-запад (рис. 2). Протяженность р. Гейзерной, принимая за основной исток руч. Прозрачного, составляет около 12 км, а перепад высот – почти 750 м при среднем уклоне 0,06. Площадь бассейна реки равна приблизительно 40 км<sup>2</sup>. Расход в межень в устье составляет 1,5–2 м<sup>3</sup>/с, в летне-осеннее время увеличиваясь в полтора раза. Расход реки значительно возрастает в период снеготаяния и выпадения осенних, особенно циклонических, дождей. Например, в 1981 г. за счет интенсивных осадков, связанных с циклоном «Эльза», произошел подъем уровня воды в реке на 2,5–3 м, а расход (по расчету) достигал 15–20 м<sup>3</sup>/с. Глубина и ширина реки изменчивы. Наибольшая ширина реки в межень (10–12 м) отмечается в устьевой части. Здесь же наблюдается минимальная скорость около 0,6 м/с и глубина 0,5–0,6 м. В действительности глубина русла изменяется в зависимости от ширины, уклона конкретного участка, но редко превышает 1–1,5 м, скорость же



© Сугарбов В. М.

21. Старая тропа в Долину гейзеров идет по берегу Тихого океана



22. На Семячикском перевале тропы в Долину гейзеров, впереди кальдера Узон и Долина гейзеров. Внизу справа В. В. Аверьев, 1966 г.



23. Вид долины р. Гейзерной от устьевой части к верховьям. На заднем плане вулканический массив Кихпинич–Желтая



24. Долина руч. Прозрачного (Колорадо)

достигает 1,5–2 м/с. Река изобилует практически на всем протяжении перекатами, порогами, водопадами.

Пять мощных ручьев, зарождающихся на склонах вулкана Кихпинич, соединившись в один поток у подножья на предгорном плато, образуют р. Левую Гейзерную. Четверем из них, некогда безымянным ручьям, удачные, хотя и безыскусные названия дал известный камчатский краевед В. И. Семенов. Самый правый – Прозрачный, или Четвертый, собирает воду со склонов непосредственно вулкана Кихпинич. Ручей наполнен холодной чистой водой, образованной в основном при таянии снежников. В приустьевой части ручей становится многоводным, напоминая горную речку, прорезает здесь туфолавы и образует неглубокое ущелье. Живописный его вид подсказал В. Л. Леонову название – Колорадо (фото 24). Часто руч. Прозрачный именуют р. Гейзерной.

Четыре других ручья протекают по западному и северо-западному склонам сопки Желтой. Один из них, руч. Желтый (Третий), в своем низовье пересекает поля гидротермально-измененных пород, для которых характерно содержание самородной серы. Такие «осерненные» участки создают желтый фон русла ручья, что отразилось в его названии. Устьевой участок Желтого ручья известен сейчас как Долина Смерти (XII на рис. 2). Следующий ручей – Красный (Второй) характерен тем, что в долине и его русле наблюдаются небольшие нисходящие холодные источники, образующие осадки окислов железа красного цвета. Голубой ручей (Первый) занимает глубокую дугообразную расщелину на юго-западном склоне сопки Желтой и местами протекает по участкам распространения гидротермальных глин с преобладанием синего цвета. Наконец, самый левый, самый южный – руч. Белый (или Кислый). В его верховье расположены парогазовые струи и кипящие грязевые котлы, стенки которых окаймлены отложениями серы. Вытекающая из многочисленных котлов вода с мельчайшими глинистыми и серными частицами попадает в ручей, вода которого приобретает мутность и белесый цвет. Ниже слияния названных ручьев общий, уже достаточно многоводный мутноватый поток известен как руч. Мутный. На его левом берегу можно видеть термопроявления так называемого Западно-Кихпиничевского термального поля (X на рис. 2).

Вышеназванные ручьи почти до слияния в один руч. Мутный прокла-

дывают свой путь, слабо врезааясь в поверхность подножия массива Кихпинич–Желтая. Исключение составляет руч. Голубой. Но уже руч. Мутный и перед слиянием с ним руч. Прозрачный врезаются на 50–70 м в вулканическое плато и образуют узкие ущельеобразные долины. Мы упоминали выше о такой долине в устьевой части руч. Прозрачного – ущелье Колорадо.

Более многоводный руч. Прозрачный подавляет своей чистой водой руч. Мутный, и чуть ниже их соединения вода р.левой Гейзерной также прозрачна по всей ее ширине. Река здесь имеет прямое русло и течет в западном направлении в узком (ширина 200–300 м) ущелье, стенки которого возвышаются на 100–150 м над рекой. Протяженность этого отрезка реки – 900 м. После впадения справа руч. Правого река поворачивает на юго-запад, преодолевая путь более чем в один километр. Русло реки также спрямленное. Долина постепенно расширяется и углубляется. В конце данного участка ширина ее достигает 800 м, а глубина вреза – 200–250 м.

Здесь происходит слияние р.левой и Правой Гейзерной, и, естественно, увеличивается расход реки. Направление реки изменяется на южное и сохраняется на расстоянии почти в 2,5 км. Гейзерная течет по заметно расширяющейся до одного километра долине. Левобережная часть долины более широкая. Она начинается крутыми обрывами Горного плато, недоступными для подъема и спуска, и затем плавно понижается к руслу. Особенно хорошо это видно на участке *Верхне-Гейзерного термального поля* (IX на рис. 2). Правый берег напротив представляет собой крутые склоны вплоть до обрывов высотой до 70–100 м, поднимающихся непосредственно от реки, постепенно повышающихся к вершинам сопки Гейзерной. В отличие от левой Гейзерной р. Гейзерная на этом участке имеет извилистое русло, отмечаются крутые повороты, в том числе под прямым углом. Глубина вреза реки относительно поверхности Горного плато достигает 350–400 м.

Ниже река поворачивает вновь на юго-запад и течет в этом направлении около 1,8 км. Примечательным, что характеризует долину Гейзерной здесь, являются три водопада, следующие один за другим и образующие общий трехкаскадный водопад высотой 29 м, и первые гейзеры со стороны верхнего течения реки (фото 25). На верхней кромке водопада периодически работает гейзер Верхний в русле, а чуть ниже на правом берегу можно наблюдать более стабильное действие гейзера Верхнего (фото 26). Отсюда начинается (с верховья реки) или здесь заканчивается (с низовья реки) Долина гейзеров. Приблизительно до устья руч. Игрушка характер долины Гейзерной сохраняется, то есть правый борт представляет собой крутой, местами обрывистый склон, левый –

пологий склон вблизи русла, круто поднимающийся затем к бровке Горного плато. Долина расширяется до 1,5 км.

Ниже устья руч. Игрушка, который маленьким, но изящным водопадом справа вливается в Гейзерную, левый и правый берега в приустьевой части вылаживаются. В удалении от русла берега так же круто поднимаются к бортам, особенно на левобережье. Бровка левого борта долины здесь приближена к реке, и долина несколько сужается до 1–1,2 км. Именно на этом участке река более всего врезана (на 500 м) в окружающие долину Горное плато и сопку Гейзерную.

После впадения слева в Гейзерную руч. Ступенчатого река резко, под прямым углом поворачивает на северо-запад и затем через 300 м течет в общем западном направлении, изменяя его на отдельных коротких отрезках пути. Далее на протяжении 1,5 км река плавно течет на юго-запад и справа впадает в р. Шумную. Последний 2,5-километровый участок Гейзерной составляет центральную часть Долины гейзеров, описываемой ниже более детально. Долина р. Гейзерной здесь достигает максимальной ширины – 3 км. Левый берег так же, как и на других участках реки, значительно шире правого и имеет вид циркообразного понижения, поверхность которого изрезана многочисленными притоками руч. Водопадного. Ручей Водопадный в приустьевой части долины р. Гейзерной низвергался до оползня 2 июня 2007 г. красивым теплым водопадом высотой 28 м в 110 м от впадения в р. Гейзерную.

Главенствующими вершинами бассейна р. Гейзерной является вулканический массив Кихпинич, вытянутый с северо-востока на юго-запад почти на 8 км,



25. Река Гейзерная, низовье водопада Трехкаскадного





26. Верхняя часть водопада Трёхкаскадного и гейзер Верхний

сопка Гейзерная и плато Круглое (правый борт) и Горное плато (левый борт). Массив Кихпинич состоит из нескольких вулканических сооружений. Самый молодой – действующий вулкан Кихпинич, представляющий собой два базальтовых конуса: Западный и Савича. Последний выделяется четкими линиями правильного конуса. Южнее расположен потухший стратовулкан Старый Кихпинич, символом которого служит г. Пик, и еще южнее – дацитовый вулкан – сопка Желтая. Конус Савича высотой 1 552 м имеет небольшой кратер диаметром 60 и глубиной 30 м. В кратере и на гребне отмечается слабая фумарольная деятельность. В северном направлении от конуса распространены молодые лавовые потоки, четко выраженные в современном рельефе, а восточнее выделяется черной нашлапкой эффузивный купол Краб. Древняя по-



27. Старый Кихпинич, г. Пик. На переднем плане – Долина Смерти (устье руч. Желтого)

стройка вулкана Старый Кихпинич выглядит не менее живописно, чем стройный конус молодого Кихпинича, благодаря главной его вершине и всему массиву остро-столбчатой г. Пик, имеющей высоту чуть более 1 600 м (фото 27). Украшает массив и его южное окончание сопка Желтая, издали выделяющаяся своими мягкими очертаниями склонов и желтым цветом слагающих сопку гидротермально-измененных пород.

Левобережье р. Гейзерной представляет собой крутые, в верховье обрывистые склоны Горного плато, бровка которого имеет отметки 800–900 м. Над обрывами возвышаются отдельные вершинки с отметками 1 050–1 090 м, которые в геологическом отношении являются экструзиями дацитов, например экструзия Бортовая. Большая, срединная, часть правого берега относится к крутым, но равно понижающимся склонам сопки Гейзерной (высота 1 085 м) за исключением небольшого участка верховья руч. Лавового, где наблюдаются удивительные обрывы пемзовых туфов Желтые скалы. Верховья Правой Гейзерной принадлежат сопке Останец, а приустьевая часть – склонам плато Круглого.

Старый Кихпинич знаменит современными гидротермальными проявлениями, много превышающими по мощности и облику слабые фумаролы конуса Савича. Основное термальное поле приурочено к кратеру Старого Кихпинича почти в центре массива Кихпинич. Крутые, местами обрывистые стенки, испещренные многочисленными поверхностными водотоками, делают кратер труднодоступным для

**Рис. 2. Обзорная карта района Долины гейзеров:**

- 1 – гейзеры, кипящие и горячие источники (температура более 70 °С);
- 2 – горячие и теплые источники (температура 20–70 °С);
- 3 – источники с температурой воды менее 20 °С;
- 4 – горячие грязевые и водные котлы;
- 5 – парогазовые струи;
- 6 – характерные термальные участки и примечательные места долины р. Гейзерной: I–VIII – термальные участки (см. также рис. 5), IX – Верхне-Гейзерное термальное поле, X – Западно-Кихпиничевское термальное поле, XI – Южно-Кихпиничевское термальное поле, XII – Долина смерти, XIII – обрывы пемзовых туфов Желтые скалы и холодные источники (пластовый выход холодных грунтовых вод);
- 7 – изолинии рельефа;
- 8 – обрывы, уступы бортов долины р. Гейзерной;
- 9 – домики лесника: 1 – в Долине гейзеров, 2 – в верховье р. Гейзерной



28. Поле гидротермально-измененных пород в верховьях руч. Кислого



29. Термальная площадка – источник Чёрный на левом берегу руч. Мутного. На заднем плане экструзия сопка Жёлтая



30. Южно-Кихпиничевское термальное поле. Вдали – Большой Семячик

передвижения. Вместе с тем, причудливые формы микрорельефа, светло-желтый и даже золотистый на солнце цвет пород, слагающих стенки кратера, создают своеобразный, очень привлекательный вид этого участка вулкана. Кратер имеет размер в поперечнике около 1,5 км, глубину почти 600 м, а кромки кратера достигают 1 400 м высоты над уровнем моря. Собирающиеся в кратере атмосферные осадки образуют ручейки, которые соединяются у восточной разрушенной стенки кратера в руч. Кислый (фото 28). Термальное поле руч. Кислого называют также полем Восточно-Кихпиничевских паровых струй (10 на рис. 1).

Гидротермальная активность сосредоточена преимущественно в северной части кратера, где выделяются отдельные небольшие термальные поля. В основном здесь наблюдаются парогазовые струи с максимальной температурой, приближающейся к точке кипения воды на данной высоте – 97 °С. На одном из участков, в узком ущелье на левом склоне в верховье руч. Кислого, отмечаются две мощные парогазовые струи. Наблюдаемые многочисленные термальные «источники» имеют небольшой дебит, так как все они – результат смешения конденсата пара и атмосферных осадков. Температура воды изменяется в широких пределах, вода имеет характерный сульфатно-натриевый состав, неприятный привкус с легким запахом сероводорода.

Остальные участки гидротермальной активности массива Кихпинич относятся к сопке Желтой и ее западному подножию и находятся уже в бассейне р. Гейзерной. В группе отдельных термопроявлений в низовье руч. Желтого, Красного, Голубого, а также в долине руч. Мутного, известных под названием Западно-Кихпиничевских паровых струй, выделяются участки в долине руч. Мутного и Долина Смерти (ХП на рис. 2). Термальная площадка на первом участке расположена на левом берегу руч. Мутного, примерно в 200 м выше слияния его с руч. Прозрачным (фото 29). Характерное термопроявление – небольшой водный котел, через поверхность которого интенсивно выделяется газ с запахом сероводорода. Вода имеет температуру 54 °С и из-за примеси соединений серы – темно-серый цвет (ист. Черный). Неподалеку находится парогазовая струя с температурой 93 °С и нисходящий источник с температурой воды 75 °С. В небольших углублениях можно легко обнаружить желтые скопления самородной

серы. Термальная площадка Долина Смерти расположена в устьевой части руч. Желтого и отличается от других отсутствием высокотемпературных термопроявлений. Характерным здесь являются выходы газа (температура 19 °С) и прогретые участки грунта с температурой немногим более 20 °С. Участок хорошо заметен по желтой окраске поверхности из-за скоплений самородной серы, в частности так называемых серных бугров. Особенности этого термального поля рассмотрены ниже.

Самыми мощными и эффектными термопроявлениями этого участка сопки Желтой являются Южно-Кихпиничевские паровые струи и сопутствующие им другие виды гидротермальной активности. Термальное поле расположено на правобережье верховья руч. Белого (фото 30). Здесь, на площади размером 170 x 400 м, наблюдаются термальные площадки с многочисленными мелкими грязевыми, как правило кипящими, воронками и котлами, температура в которых достигает 96 °С. Большая часть их расположена в русле и вдоль берегов двух ручейков, впадающих слева в руч. Белый. Водные котлы имеют желто-зеленый

цвет из-за примеси серы, отложения которой особенно заметны по краям отверстий с выходами пара и газа. Многие котлы заполнены белой глинистой массой с пузырящейся поверхностью от выделения пара и газа. Можно видеть также миниатюрные белые и желтоватые грязевые вулканчики. Как и на других термальных полях, ощущается слабый запах сероводорода.

Своеобразным завершением гидротермальной деятельности сопки Желтой являются теплые источники у мест слияния руч. Прозрачного и Мутного. В долине первого, выше ущелья Колорадо, отмечен источник с температурой 37 °С, а в 150 м ниже их слияния на левом берегу р. Гейзерной – источники с температурой 27 °С (Неожиданные). Верхний выход воды находится на высоте 60 м от уреза реки и хорошо заметен по ржаво-красному цвету русла ручейка, окрашенного при осаждении из воды окислов железа. К остальным термопроявлениям бассейна р. Гейзерной, расположенным ниже по ее течению, мы вернемся при описании Долины гейзеров. Но прежде дополнительно остановимся на характеристике упомянутой выше термальной площадки Долины Смерти.

## Долина Смерти и причины гибели животных в верховьях р. Гейзерной

У юго-западного подножия г. Желтой на абсолютной отметке 850–900 м в долине руч. Желтого, являющегося левым притоком р. Гейзерной, в 1974 г. было обнаружено много погибших зверей и птиц. Позы зверей говорили о внезапной смерти. Ничего мрачного и предвещающего опасность нет в облике этой неширокой долинки. Наоборот, после утомительного лазания по увалам хочется спуститься в нее и отдохнуть у речушки. Возможно, такое желание возникает и у зверей. За пять лет (с 1974 по 1979 г.) в Долине Смерти, по данным сотрудников Кроноцкого государственного заповедника, погибли 13 медведей, 3 россомахи, 9 лисиц, 1 заяц, 86 мышей, 1 орлан, 19 воронов и более 40 мелких птиц. Режимными наблюдениями установлено, что время гибели крупных животных чаще всего совпадает с периодом таяния снега, который длится здесь с мая до середины июля.

Сотрудники Института вулканологии ДВО АН СССР В. Л. Леонов и В. А. Воронков обратили внимание на выходы термальных источников в районе Долины Смерти. В составе спонтанных газов этих источников преобладает углекислый газ с небольшой примесью сероводорода. Было высказано предположение, что причиной гибели животных может быть скопление углекислого газа в пониженных участках долины. Примеры таких событий описаны и по другим районам вулканической деятельности. Так, близ Йеллоустонского национального парка в США известно Мертвое ущелье, где были найдены погибшие медведи-гризли. В Долине Смерти на о. Ява около выходов углекислых газовых струй – мофетт многократно находили задохнувшихся кабанов и других животных. В этих случаях виновником гибели признавали углекислый газ, накапливающийся в понижениях рельефа при отсутствии конвективного перемешивания воздуха.

Вулканический массив Кихпиньч, к которому пространственно приурочена камчатская Долина Смерти, находится в стадии фумарольно-сульфатарной деятельности. В северо-восточной части массива возвышается молодой конус Савича, в привершинной части которого до сих пор действует фумарола. На сульфатарных полях южного и юго-западного склонов вулкана Кихпиньч, сложенных разноцветными глинисто-алунитовыми по-

родами с прожилками серы, наблюдается множество выходов парогазовых струй, в составе которых основное место занимают  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , в меньшей степени  $\text{SO}_2$  и другие газы. В то же время район Долины Смерти лежит в полосе глубинного разлома, трассирующегося на запад через кальдеру Узон. Как известно, гидротермальная система кальдеры Узон является сульфидной, и сероводород занимает в составе спонтанных газов, по нашим данным, до 8 об. %

Участок, где наблюдается гибель животных, приурочен к довольно узкой долине протяженностью не более 2 км и шириной от 100 до 500 м. На этом участке выделяется площадка размером 100 x 30 м, где чаще всего обнаруживают погибших зверей и птиц. Площадка находится на нижней валунно-галечниковой террасе ручья высотой 0,5–0,7 м. Борта ручья сложены измененными до глини породами с обильными включениями серы (фото 31). В верховьях мелких ручьев, стекающих к площадке с востока, наблюдаются отложения почти чистой самородной серы. Валунно-галечниковое дно мелкого ручья практически сплошь покрыто белым налетом коллоидной серы. Выше по ручью, на левом берегу, отмечено сильнейшее сернокислотное выщелачивание сероносных пород, обусловленное окислением серы тионовыми бактериями, снижающими pH растворов до значений меньше 2. Ниже участка гибели животных ручей с кислой водой сливается с притоком талых вод, и в его русле обильно отлагаются охристые окислы железа. Далее вниз по течению по обоим берегам ручья наблюдаются выходы мофетт с заметным запахом сероводорода, но здесь отмечены только единичные находки тушек мелких птиц.

Непосредственно в зоне Долины Смерти окислительная деятельность тионовых бактерий подавлена и концентрация их на образцах серы составляла в августе 1982 г. лишь 103 клетки/г, т. е. была на несколько порядков ниже обычной для условий сернокислотного выщелачивания. Слабое развитие бактериальных процессов окисления серы на этом участке и наличие сероводорода в газах мофетт наталкивали на мысль о его решающей роли в гибели животных в Долине Смерти. Интересно, что, находясь в обогащенной сероводородом атмосфере, туши погибших животных

и птиц долго не разлагались. Чтобы не привлекать к месту гибели других зверей, сотрудники Кроноцкого заповедника в 1978 г. убрали трупы из зоны гибели. В начале мая 1979 г. при очередном обследовании Долины Смерти здесь была обнаружена погибшая лисица. По следам на снегу, который выпал накануне, было хорошо видно, что лисица спустилась к ручью с крутого борта и погибла внезапно. Перед ней лежала мертвая пуночка. В этом месте над засыпанным снегом ручьем образовалось провальное окно, возник своеобразный колодец. Спустившись в него, мы ощутили запах сероводорода, почувствовали головокружение и усиленное сердцебиение, мы надели противогазы.

Воздух, отобранный в 10–15 см от зеркала воды ручья, содержал 21, 23 мг/л (1,41 об.%) сероводорода и был резко обеднен кислородом (табл. 1, проба 10/79). На высоте 50 см сероводорода было уже 10,2 мг/л (0,69 об.%). В воде холодного ручья определено 105,4 мг/л сероводорода; все камни в нем были покрыты толстым налетом коллоидной серы. Снег в районе «колодца» также оказался насыщенным сероводородом. При повторном посещении этого места осенью 1979 г. мы обнаружили, что ручей высох, серного осадка в ручье нет, и в окрестностях отсутствуют сосредоточенные струи газа или газифицирующие источники. В то же время воздух в нишах под серными буграми содержал те же повышенные концентрации сероводорода. На открытых продуваемых местах сероводорода в воздухе уже не было.

Обследовав Долину Смерти в августе 1981 г., в период полного схода снежников и сильных ветров, продувающих долины, мы не обнаружили здесь новых признаков гибели крупных животных. Вдоль трещинных зон поступления газов были найдены тушки мелких птиц и мышей. Особенно четко фиксировались выходы газов по многим сотням мертвых насекомых. Свидетельством поступления сероводорода по этим зонам явилось интенсивное почернение боковых пород вследствие образования дисульфида железа. В пробе воздуха объемом 80 мл, откачанного резиновой грушей из такой зоны в зарядку с ацетатом кадмия (параллельной пробе 2106), было определено 1,3 об. %  $H_2S$ . В то же время в двух пробах воздуха (табл. 1, пробы 2101, 2107), отобранного в том же самом месте электронасосом (прокачавшим через 500-миллилитровую емкость 30 л газа в течение 1 часа) сероводород не был обнаружен, что, по-видимому, связано с его последующим окислением кислородом. В пробах 2103 и 2105, отобранных из одного и того же места и проанализированных в разных лабораториях, а также в пробе 2106 обнаружился некоторый избыток кислорода относительно воздушного соотношения азота и кислорода, что, по-видимому, связано с поступлением кислорода и азота с грунтовыми метеорными водами. При соприкосновении с горячими струями газа происходит дегазация воды и, соответственно, меняется соотношение  $N_2/O_2$  в потоке газа на выходе, так как растворимость (и содержание) азота и кислорода в воде заметно раз-



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

31. Термальная площадка Долина смерти

личны. Аналогичное явление отмечалось и ранее, например на вулкане Эбеко.

Для проверки предположения о возможности генерирования газов толщей серных отложений при ее прогреве были сделаны анализы окклюдированных (поглощенных при образовании) газов в двух образцах самородной серы, отобранных из серного бугра на площадке гибели животных. Как видно из таблицы 2, состав выделившегося газа является промежуточным между обычным воздухом и пробами спонтанного газа из источников Долины Смерти. Вероятно, такой состав газа сформировался вследствие диффузии в серную залежь потока фумарольных газов и атмосферных кислорода и азота. Обращает на себя внимание наличие в составе окклюдированных газов двуокиси серы и карбонилсульфида (COS), отмеченного еще в 1960 г. Л. А. Башариной на пирокластических потоках вулкана Безымянного, а также ранее никогда не определяемого на вулканах сероуглерода. Таким образом, в составе воздуха Долины Смерти, помимо достаточно высоких содержаний углекислого газа, обнаружены  $H_2S$ ,  $SO_2$ , COS,  $CS_2$ . Они относятся к веществам, губительно действующим на центральную нервную систему: 0,1 %  $H_2S$  в воздухе вызывает тяжелое отравление и паралич конечностей у животных; 0,2 % двуокиси серы вызывают потерю сознания и обморок; 0,5 %  $CS_2$  поражают центральную нервную систему и другие органы. Но последствия вдыхания появляются не сразу; COS по токсическому эффекту сходен с  $H_2S$ , но действие его проявляется медленнее.

Следует учесть, что в августе 1981 г. пробы воздуха отбирали при сильном ветре, продувавшем Долину Смерти. По-видимому, в безветренную погоду концентрации тяжелых и токсических компонентов  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ , COS и  $CS_2$  в приземном слое воздуха были бы выше. Возникновение устойчивой стратификации слоев газа резко различного химического состава – так называемой химической меромиксии – обусловлено особенностями микрорельефа местности и погодных условий. Толчком к этому явлению в Долине Смерти служит, скорее всего, возникновение инверсии температуры атмосферы в период снеготаяния, вслед за которой и происходит накопление в приземном слое воздуха углекислоты и сернистых соединений.

Таблица 1. Состав воздуха и спонтанных газов в Долине Смерти

| Анализ<br>Analysis | Номер<br>пробы<br>Probe<br>number | Дата<br>отбора<br>Sampling<br>date | Т °С | Состав газа, об.%. Gas composition, vol.% |                |                |                 |     |                 |                               |                               |                               |       |                  |     |        |                 |        |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------|---|----------------|----------------|-----------------|-----|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|------------------|-----|--------|-----------------|--------|
|                    |                                   |                                    |      | H <sub>2</sub>                            | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO  | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | Ar    | H <sub>2</sub> S | He  | COS    | SO <sub>2</sub> | Сумма  |
| 1                  | 10/79                             | 14.05.79                           | 4    | 0,0                                       | 8,65           | 53,90          | 36,80           | 0,0 | 0,6525          | 0,0008                        | 0,0                           | 0,0004                        | –     | 0,0              | 0,0 | –      | –               | 100,00 |
| 2                  | 10/79                             | 14.05.79                           | 4    | 0,0148                                    | 16,07          | 74,09          | 2,69            | 0,0 | 0,0717          | –                             | 0,00033                       | 0,0                           | 0,666 | 0,0              | –   | –      | –               | 93,60  |
| 3                  | 11/79                             | 14.05.79                           | 46   | 0,891                                     | 0,028          | 5,62           | 82,18           | –   | 0,452           | –                             | 0,0                           | 0,021                         | –     | 6,76             | –   | –      | –               | 95,93  |
| 4                  | 12/79                             | 14.05.79                           | 28   | 0,0                                       | 0,0            | 5,92           | 82,44           | –   | 4,29            | –                             | 0,0                           | 0,0026                        | –     | 7,35             | –   | –      | –               | 100,00 |
| 5                  | 2101                              | 21.08.81                           | 12   | 0,0                                       | 20,95          | 77,52          | 0,019           | –   | 0,00091         | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | –     | 0,0              | 0,0 | –      | –               | 98,49  |
| 6                  | 2107                              | 21.08.81                           | 12   | 0,0                                       | 20,71          | 78,09          | 0,063           | –   | 0,00043         | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | –     | 0,0              | 0,0 | –      | –               | 98,86  |
| 7                  | 2103                              | 21.08.81                           | 98   | 20,70                                     | 76,70          | 1,140          | 0,0             | 0,0 | 0,38            | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | 0,95  | 0,012            | 0,0 | 0,0001 | 0,008           | 99,89  |
| 8                  | 2105                              | 21.08.81                           | 98   | 0,0                                       | 21,78          | 78,09          | 0,031           | 0,0 | 0,0035          | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | –     | 0,0              | 0,0 | –      | –               | 99,90  |
| 9                  | 2106                              | 21.10.81                           | 32   | 0,0                                       | 24,6           | 73,8           | 0,14            | 0,0 | 0,34            | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | –     | 0,016            | 0,0 | 0,0004 | 0,0092          | 98,90  |
| 10                 | 2104                              | 21.08.81                           | 12   | 0,263                                     | 0,0            | 2,26           | 93,45           | 0,0 | 1,66            | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           | 1,56  | 1,739            | 0,0 | –      | –               | 99,54  |

Примечание. Место отбора проб: 10/79 – воздух в 0,5 м от земли на площадке гибели животных; 10/79 – то же в 1 м от земли; 11/79 – грифон на левом берегу Гейзерной, в 0,8 км ниже площадки; 12/79 – грифон рядом с точкой 11/79; 2101 – воздух у самой поверхности земли на площадке гибели животных; 2103, 2105 – горячий газ из провала в серном бугре; 2106 – воздух из трещинной зоны, где образуется сульфид железа; 2104 – спонтанный газ источника в русле ручья. Анализ 1–6, 8, 10 выполнены на хроматографе «Газхром» (аналитик Н. Я. Непомнящая), анализы 7, 9 – на масс-спектрометре типа МИ-2101 (аналитик Ю. М. Миллер). Проверк не определялся; 0,0 – не обнаружен. В пробах газа с присутствием кислорода сероводород неустойчив и полностью окисляется до элементарной серы. Поэтому, несмотря на его обильное выделение на участке Долины Смерти, сероводород в пробах воздуха, анализировавшихся спустя 1,5 месяца после отбора, аналитически не подтвержден.

Таблица 2. Состав окклюдированных газов (об.%)

| Номер пробы<br>Probe number       | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | Ar   | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | COS  | CS <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S |
|-----------------------------------|----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|------------------|
| 1044/1                            | 56,9           | 16,6           | 0,69 | 23,9            | 0,16            | 0,16 | 0,45            | 0,21             |
| 1044/2                            | 51,0           | 14,1           | 0,65 | 30,6            | 0,37            | 0,14 | 0,38            | 0,19             |
| Воздух (эталон)<br>Air (standard) | 78,0           | 20,9           | 0,93 | 0,0             | –               | –    | –               | –                |

Примечание. Пробы анализированы на масс-спектрометре типа МИ-1201. Общее количество газа определялось с применением воздушного стандарта. Аналитик Ю. М. Миллер (Институт микробиологии РАН, г. Москва)

## Климат, растительный и животный мир

Климатические особенности территории определяются положением вблизи Тихоокеанского побережья Камчатки, для которого характерна активная циклоническая деятельность и смена атмосферной циркуляции над материковой частью и прилегающей акваторией Тихого океана. Следствием различного прогрева воздуха над сушей и океаном является обилие осадков, облачность и высокая влажность, что свойственно особенно приморским районам. Удаление Долины гейзеров от побережья почти на 40 км и превышение над уровнем моря на 600–1 400 м приводит к более контрастным температурам воздуха и меньшей облачности. Общее количество осадков достигает 2 000 мм в год, большая часть которых падает на зимнее время. Среднегодовая температура воздуха приближается к 0 °С, самый теплый месяц – август, самый холодный – январь. При большой продолжительности зимнего периода (снег выпадает в самом начале ноября и сходит в конце мая), зима мягкая, без сильных морозов. Осенью и в начале зимы район Долины гейзеров попадает под влияние циклонов, сопровождаемых сильными ветрами юго-восточного и северо-западного направлений и обильными осадками. В эти моменты отмечается большая суточная норма осадков – до 60–80 мм. Из-за короткого (начало июля – первая половина сентября), прохладного и влажного лета, на высоких отметках и микропонижениях рельефа снег, не успевая растаять, сохраняется до начала нового снегостояния.

Растительный покров в бассейне

Гейзерной отражает все особенности растительного мира вулканического дола Восточной Камчатки. В верховье бассейна на склонах вулканического массива Кихпиныч–Желтая выше отметки 1 000 м растительность представлена небольшими пятнами кустарничков верескового сообщества в большинстве своем стланиковой формы (багульник, брусника), мха и лишайников. Склоны долины реки ниже тысячетровой отметки задернованы и сплошь покрыты, за исключением скальных обрывов, ольховым стлаником с отдельными островками кедрового стланика. В средней и нижней частях бассейна, особенно в долине руч. Водопадного, на отметках ниже 700 м в растительном покрове появляются отдельно растущие каменные березы или их небольшие рощицы (фото 32). Для этой зоны характерно развитие подлеска, обычно представленного рябиной, шиповником, реже жимолостью, а в травяном ярусе выделяется шеломайник, иван-чай, борщевик, крестовник, хвощи, черемша, папоротник, щитовник и др.



32. Береза Эрмана «прижилась» рядом с высокотемпературными площадками в центре Долины гейзеров

Гидротермальная активность не влияет на существующий в каждой ландшафтной зоне фон растительного покрова. Однако на конкретных участках термопроявлений формируются особые растительные группировки. Причем растительность распределяется по зонам, в центре которых обычно за счет высокой температуры грунта (40–100 °С) наблюдается открытая поверхность. По краевым частям последовательно развиваются мох, фимбристелис, покрытый пленкой синезеленых водорослей и, наконец, полоса полыни, которая может быть окружена высокотравьем из шеломайника, крестовника, волжанки. Это наблюдается в средней и нижней частях долины р. Гейзерной. Непосредственно на термальных площадках вблизи водотоков и различных водоемов горячей воды развиваются термофильные водоросли и бактерии и отдельные виды цветковых растений (фото 33). Резко изменяющиеся температурные условия и состав грунта обуславливают здесь формирование пестрого и мозаичного видового состава растительного мира.

Даже на ограниченной площади бассейна р. Гейзерной можно встретить типичных представителей животного мира Кроноцкого заповедника. Ранней весной на заснеженных склонах долины появляются бурые медведи, спешащие к заросшим зеленым термальным площадкам. Вблизи них часто встречаются и зайцы-беляки, хотя их можно заметить повсюду на склонах и в верховье бассейна. На склонах массива Кихпиныч–Желтая, если очень повезет, можно встретить диких оленей, небольшие

группы которых иногда появляются здесь, мигрируя с восточного побережья на обширные пространства вулканического дола вулканов Узон и Унана. Нередко можно видеть лисиц и, конечно, различного вида полевок. Среди птиц встречаются белые куропатки, особенно в верховье бассейна, кедровки, разнообразные синицы, пеночки, трясогузки, по берегам ручьев кулички, иногда попадаются каменухи. Разумеется, в период пролета птиц разнообразие видов увеличивается и случайно можно наблюдать многих других птиц, например юрков, куликов-ягодников в верховье



© Сугробов В. М.

33. Цветковые растения соседствуют с термопроявлениями

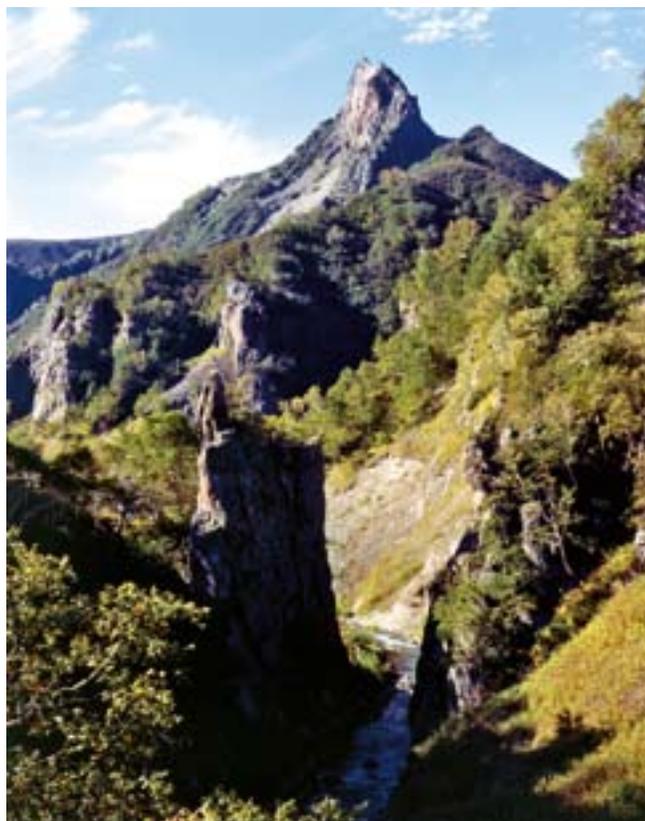
р. Гейзерной. Следует отметить своеобразие насекомых, живущих круглогодично на термальных площадках и вблизи водоемов и водотоков горячей воды, где они постоянно находят корм и где созданы благоприятные температурные условия обитания.

## Геологическое строение и история Долины гейзеров

На рисунке 3 показана упрощенная схема геологического строения бассейна р. Гейзерной. Протекая по восточному краю Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии (расположение ее видно на рис. 1), река врезается в озерные отложения, заполняющие депрессию, а в среднем и нижнем течении прорезает их на всю мощность и вскрывает наиболее древние отложения, относящиеся к ее фундаменту. На карте (рис. 3) показаны отложения разного возраста, объединенные в пять комплексов. Докальдерный комплекс (показан зеленым цветом) объединяет разнообразные породы (преимущественно лавы и туфы андезитового и дацитового состава), сформировавшиеся до образования Узон-Гейзерной депрессии. Эти породы имеют разный возраст – от 40 до 140 тыс. лет.

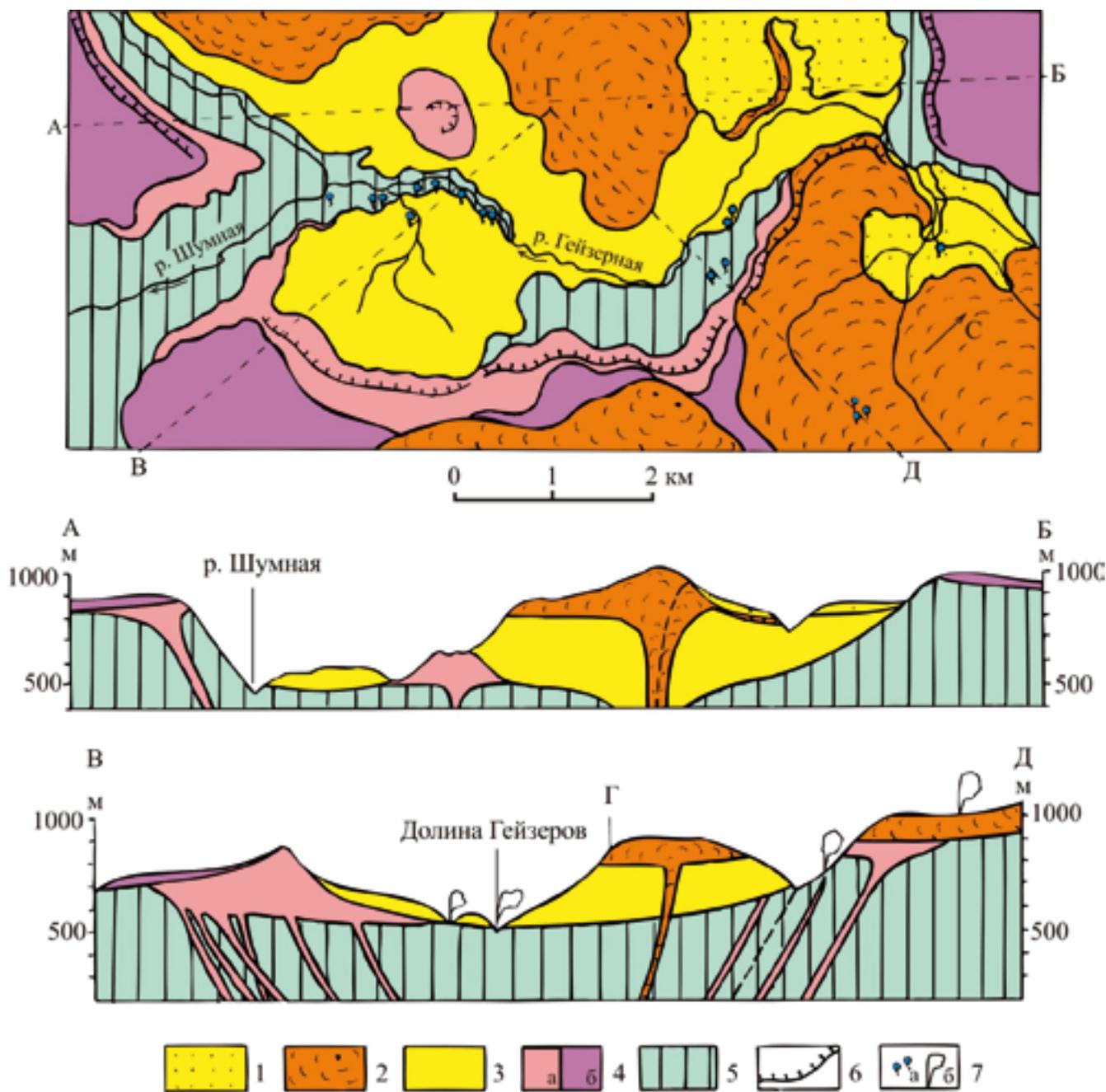
Следующие два более молодых комплекса (показаны красным и розовым цветом) связаны с образованием Узон-Гейзерной депрессии. Более ранний из них – бортовой (показан красным цветом) представлен многочисленными дайками, экструзивными телами и лавовыми потоками, изменяющимися по составу от дацитов до риодацитов. Примером тел внедрения может быть дайка пик Слияния на левобережье р. Шумной напротив устья р. Гейзерной (фото 34). Большая часть этих тел внедрилась по дуговым трещинам, возникшим по краю вышеназванной депрессии, и сформировала ее борта. Второй комплекс (показан розовым цветом) представлен преимущественно взрывными отложениями – пемзами, бомбовыми туфами, игнибритами. Его формирование связано с мощными взрывами, которые непосредственно предшествовали образованию вулканотектонической депрессии. Возраст отложений этого комплекса определен радиоуглеродным методом по почве, погребенной под игнибритами в районе Кроноцкого озера в  $39\,600 \pm 1\,000$  лет (ГИН-1369).

Наиболее молодые отложения, вскрывающиеся в бассейне р. Гейзерной, заполняют Узон-Гейзерную депрессию и частично распространены по ее бортам. Они объединены в два комплекса, которые показаны на рисунке 3 желтым и оранжевым цветами. Первый комплекс (показан желтым цветом) представлен озерными отложениями, которые имеют очень широкое распространение по бортам р. Гейзерной (фото 35). Это, в основном, слоистые пемзовые туфы,



34. Триумфальные ворота в устьевой части Гейзерной – дайка, прорезанная рекой. Вдали дайка пик Слияния

содержащие иногда слои брекчий и конгломератов. Изучение их состава и распространения показало, что в пределах Узон-Гейзерной депрессии существовало несколько озерных бассейнов, которые имели различные очертания и глубины и постепенно смещались к западу и к северу. Общая мощность этих отложений по бортам Гейзерной превышает 400 м. Второй комплекс, относящийся к посткальдерному этапу, представлен лавами, изменяющимися по составу от андезитов до риолитов (показаны оранжевым цветом). Наибольшим распространением пользуются лавы риодацитового состава, которые слагают крупные вулканические постройки, сопки Желтую и Гейзерную в том числе, имеющие центральный купол и распространяющиеся от него в стороны мощные (до 100–150 м) лавовые потоки. Внедрение этих лав произошло уже после



**Рис. 3. Схематическая геологическая карта и разрезы бассейна р. Гейзерной:**

1 – озерные отложения (возраст 9–12 тыс. лет); 2 – лавы андезитового, дацитового, риодацитового составов; 3 – озерные отложения (возраст 20–35 тыс. лет); 4 – а) взрывные отложения: тефра, пемзы, игнимбриты (возраст 39–40 тыс. лет), б) лавы дацитового, риодацитового составов (бортовой комплекс); 5 – докальдерные отложения (нерасчлененные); 6 – эрозионные уступы, ограничивающие с востока Узон-Гейзерную вулканотектоническую депрессию; 7 – термальные источники: а) на карте, б) на разрезе

формирования основной толщи озерных отложений, и лавы растекались по ровной их поверхности, образуя мощные, обрывистые со всех сторон плато. Абсолютные высоты этих плато сравнялись или даже превысили высоту бортов Узон-Гейзерной депрессии, так что в рельефе она к этому времени перестала существовать как депрессия.

Формирование описанных молодых экструзивных куполов и связанных с ними потоков происходило непосредственно перед и, возможно, в период последнего оледенения, то есть около 15–20 тыс. лет назад.

К этому времени вулканическая деятельность в районе практически прекратилась, депрессия была полностью заполнена озерными отложениями и лавами.

Дальнейшая история района и формирование собственно Долины гейзеров в том виде, в каком мы ее сегодня знаем, связаны с процессами эрозии, размыва описанных выше пород. Эти процессы были, по-видимому, наиболее активны в период отступления ледников последнего оледенения, когда мощные реки, вытекавшие из-под ледников, могли глубоко врезаться в озерные отложения, заполняющие Узон-Гейзерную

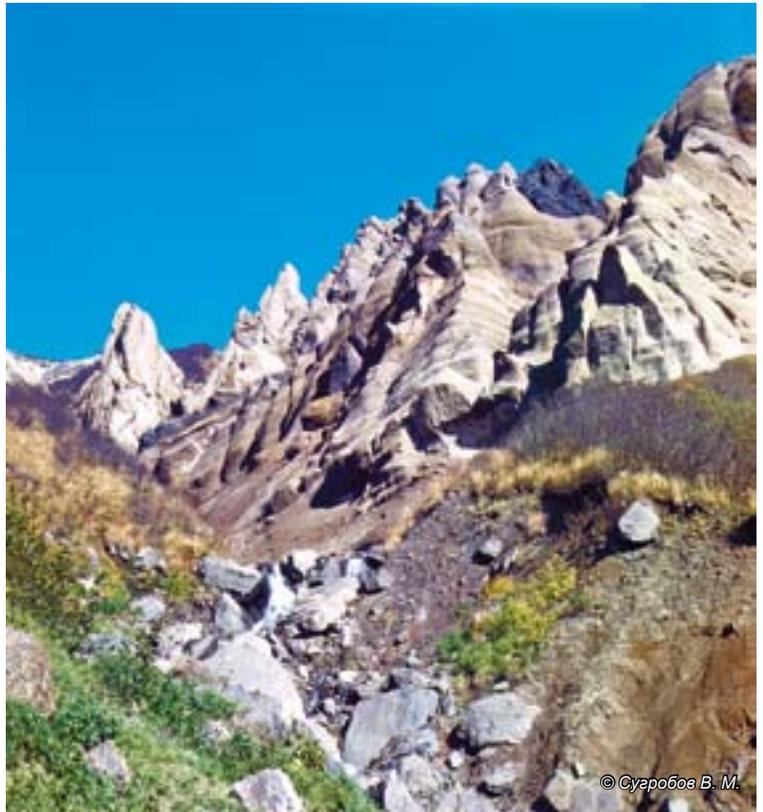
депрессию. Возможно, сыграло роль и заложение новейшей системы разломов северо-северо-восточного простирания, которое произошло в начале голоцена (около 9–12 тыс. лет назад). Эти события привели к тому, что юго-восточный борт депрессии был разрушен и в нем образовался глубокий каньон. Почти все озерные бассейны, существовавшие в пределах Узон-Гейзерной депрессии, были спущены, а по краям ее заложилась глубокие долины рек, которые в настоящее время мы называем Гейзерной и Шумной.

Дольше всего сохранялся небольшой озерный бассейн в северо-восточной части Узон-Гейзерной депрессии. Он сформировался при внедрении экструзивных куполов сопки Гейзерной и Желтой. Лавовые потоки их сомкнулись, и между ними и северным бортом депрессии образовался небольшой обособленный бассейн, который существовал еще в начале голоцена (8–12 тыс. лет назад). Отложения, сформировавшиеся в этом озере, представлены преимущественно шлаковыми туфами, которые поставлялись, по-видимому, начавшим извергаться в это время Южным конусом вулкана Крашенинникова, расположенным в 15 км севернее описываемого района.

К середине голоцена (5–6 тыс. лет назад) р. Гейзерная разрушила южный борт этого бассейна и, продолжая врезаться в толщу озерных отложений, заполняющих Узон-Гейзерную депрессию, приобрела тот облик, который мы видим сейчас – глубокого крутостенного каньона, протягивающегося дугой вдоль восточного борта Узон-Гейзерной депрессии и вскрывающего весь комплекс заполняющих ее отложений.

Термопроявления в средней части долины р. Гейзерной – Верхне-Гейзерное термальное поле – приурочены к лавам докальдерного комплекса, вскрытым на левобережье реки. Озерные отложения, некогда заполнявшие Узон-Гейзерную депрессию, здесь уничтожены эрозией полностью. Ниже Гейзерная течет по озерным отложениям, и в этой части долины крупных термопроявлений нет. Они вновь появляются в нижнем течении, где река прорезает озерные отложения, заполняющие депрессию, и опять вскрывает комплекс докальдерных отложений. В этом месте на протяжении примерно 2,5 км сосредоточена подавляющая часть крупных гейзеров и термальных источников, и именно этот участок известен всем как Долина гейзеров.

Формирование Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии и расположенных в ее пределах и вблизи нее термальных источников связано с существованием на небольшой глубине (10–15 км) в недрах этого района крупного магматического очага. Площадь проекции очага на поверхность, судя по размерам вулканотектонической депрессии, составляет порядка 100 км<sup>2</sup>. На основании наблюдающегося увеличения диаметра кольцевых структур и асимметрии строения их бортов предполагается, что кровля очага погружа-



35. Живописные обрывы пемзовых и шлаковых туфов озерных отложений Жёлтые Скалы – на правом склоне р. Гейзерной

ется в западном направлении. Ее глубина оценивается для восточной части депрессии в 7–8 км, для западной – в 10 км.

В позднем плейстоцене (около 40 тыс. лет назад) произошла общая активизация вулканизма в Курило-Камчатском регионе. В это время во многих районах, где существовали близповерхностные магматические очаги, произошли крупные извержения пирокластического материала. Десятки кубических километров магмы были выброшены в воздух, а над очагами произошли просадки и сформировались вулканотектонические депрессии. Так же образовалась и Узон-Гейзерная депрессия. После крупнообъемных кальдерообразующих извержений магматический очаг в недрах сформировавшейся депрессии не перестал существовать. Вплоть до голоцена, то есть в течение 25–30 тыс. лет, из очага происходили периодические извержения и на поверхность изливались лавы или выбрасывались пемзы, имеющие кислый состав. В то же время количество кислого материала уменьшалось, и это свидетельствовало о постепенном остывании очага.

В начале голоцена (около 9–12 тыс. лет назад) произошла новая активизация вулканизма. На Восточной Камчатке вблизи Узон-Гейзерной депрессии в это время начали формироваться вулканы Кизимен, Крашенинникова, Малый Семячик. В непосредственной близости от депрессии, на ее бортах, в голоцене сформировались шлаковые конусы. Внутри депрессии данная активизация вулканизма никак не проявилась, что может указывать на то, что магматический очаг здесь и в голоцене еще существовал и являлся буфером, препятствующим проникновению к поверхности глубинных базальтовых

расплавов. Они могли достичь поверхности лишь по периферии очага. Вполне вероятно, что периодическое внедрение глубинных высокотемпературных расплавов в близповерхностный магматический очаг в голоцене происходило неоднократно, и очаг продолжает и сегодня сохранять достаточно высокую температуру. Выступая как аккумулятор тепла, он обеспечивает тепловое питание гидротермальных систем Долины гейзеров и кальдеры Узон.

Попробуем в заключении геологического раздела для негеологов представить сухие данные о составе пород, условиях их залегания, разломах, экструзиях и прочих материалах по геологии в виде своеобразной сказки о том, какие процессы привели к появлению Долины гейзеров.

Когда рассказывают о человеке, часто вспоминают, кем были его отец, мать, бабушки, дедушки... Тогда становится более понятной и личность самого человека. Пользуясь этой аналогией, постараемся рассказать, кем были предки (в кавычках, конечно) Долины гейзеров. Надо сказать, что развитие неживой природы, в данном случае – вулканотектонических структур, и развитие биологических видов порой причудливо переплетаются, и между ними можно найти много общего. В частности, те процессы, которые привели в конечном итоге к появлению Долины гейзеров, происходили синхронно с развитием человеческого рода – эволюцией от первых человекообразных обезьян-гоминидов до человека.

Вернёмся назад на 16 млн лет – это не так уж много, если учесть, что возраст нашей Земли – 4–4,5 млрд лет. Так вот, 16 млн лет назад ещё не существовало ни Долины гейзеров, ни Камчатки. Но в то время на Земле произошло несколько замечательных событий. Африка соединилась с Евразией, и на месте разделявшего их океана Тэтис поднялись высокие горы – Альпы, Тавры, Загрос. В это время в той же Африке впервые появились человекообразные обезьяны – та ветвь обезьян, из которой позже появился человек разумный. На востоке Азии в это время уже существовали зачатки Курило-Камчатской островной дуги, и в южной её части именно 16 млн лет назад началось формирование обширной Курильской котловины. Магма устремилась вдоль дуги на север, и если на юге дуги происходили просадки, то на севере в это время начался подъём, всплывание громадного участка Земли, который «вынырнул» из океана и предстал перед нами в виде полуострова. Его мы сегодня и называем Камчаткой. Произошло это 6–8 млн лет назад. Если опять обратиться к истории человека, то в Африке в это время впервые появились гоминиды – ветвь человекообразных обезьян, которая получила название «семейство людей».

В это же время 6–8 млн лет назад в южной части Камчатки, примерно там, где сейчас находятся г. Петропавловск-Камчатский и Елизово, начался рост обширного купола, диаметр которого достигал 100–120 км. Формирование его было связано с диапиром – громадной «каплей» магмы, оторвавшейся от своих глубинных корней. Магма благодаря гидроста-

тическим силам всплывала и подняла перекрывающие ее породы. Этот купол, который в наши дни получил название Налычевский, имеет непосредственное отношение к Долине гейзеров, являясь, если опять перейти на аналогию с историей людей, её, Долины, «прадедушкой».

Примерно 3 млн лет назад на Камчатке начал проявляться мощный наземный вулканизм. В пределах Налычевского купола в это время были сформированы крупные базальтовые вулканы, остатки которых (лавы-плато) сегодня можно наблюдать в верховьях р. Авачи. Прошел ещё миллион лет, и на краю Налычевского купола, к северо-востоку от него, стал формироваться новый крупный вулканический центр – Карымский. Самые древние лавы этого центра датируются в 0,8–2 млн лет. Этот центр можно считать прямым родственником Налычевского купола и, как будет видно дальше, «дедушкой» Долины гейзеров. Развитие его было длительным и сложным, а наиболее яркие и мощные события в нём произошли примерно 150–180 тыс. лет назад, когда в результате грандиозных извержений были выброшены в воздух сотни кубических километров горной породы и сформировались обширные просадки: кальдеры вулканов Половинка, Стена, Соболиный. Надо сказать, что для нас, людей, этот период тоже знаменателен, так как в это время появился на свет первый человек из рода *Homo sapiens*. Длительным и порой драматичным было рождение как новых геологических образований, так и новых биологических видов!

Итак, мы дошли до «дедушки» Долины гейзеров, а кто же был её непосредственным «родителем»? Им можно считать Больше-Семячикский вулканический центр. Он возник на краю Карымского центра к северо-востоку от него и непосредственно продолжил ту ветвь вулканической активности, которая началась ещё 3 млн лет назад на Налычевском куполе. Наиболее древние породы в нём датируются в 300–500 тыс. лет, а кульминация в развитии – прорыв магмы на поверхность и формирование кальдер – произошли здесь около 90–120 тыс. лет назад. В это время впервые начала развиваться вулканическая активность и в районе, где расположена ныне Долина гейзеров. Но это было еще только самое начало формирования на её месте крупного вулканического центра, который мы в настоящее время называем Узон-Гейзерным. Апогей в его развитии наступил около 40 тыс. лет назад – так же, как в своё время в Больше-Семячикском центре, а до этого – в Карымском центре. Здесь произошли крупные извержения пирокластике, вслед за чем сформировалась обширная просадка – Узон-Гейзерная вулканотектоническая депрессия. И опять хочу вернуться к истории человека – именно в это время, 40 тыс. лет назад, по данным палеоантропологов появляется анатомически современный вид человека, то есть наш с вами прямой предок! И, по-видимому, в это же время, около 35–40 тыс. лет назад, в восточной части Узон-Гейзерной депрессии впервые проявилась мощная гидротермальная деятельность, следы которой мы можем обнаружить в настоящее время

на гребнях обрывов, окружающих Долину гейзеров с востока. Но самой Долины гейзеров тогда все ещё не существовало – на её месте плескалось глубокое озеро, постепенно заполнявшееся пемзой и обломками пород, поступавшими сюда при извержениях близлежащих вулканов. И уже совсем недавно (по геологическим меркам), после отступления ледников последнего оледенения – а оно было на Камчатке 20–21 тыс. лет назад – в юго-восточной части Узон-Гейзерной депрессии произошел прорыв ее борта, и озеро было спущено. И, по всей вероятности, 10–12 тыс. лет назад Долина гейзеров приобрела тот вид, который всем нам теперь так хорошо знаком – глубокий каньон, прорезавший толщу озерных отложений, заполнявших некогда обширную Узон-Гейзерную депрессию.

Итак, Долина гейзеров – это не просто рядовое явление, которое может возникнуть везде, где есть

вулканическая деятельность. В ней как бы сфокусировался очень длительный вулканический процесс, протекавший направленно и закономерно на громадной площади, охватывающей всю Восточную Камчатку. И без «прадедушки» – Налычевского центра, без «дедушки» – Карымского центра, без «отца» – Больше-Семячикского центра не было бы и Долины гейзеров. Это ещё раз подчеркивает её уникальность уже как геологического объекта.

Возможно, неслучайно и то, что процесс её формирования шел параллельно с эволюцией человека. Может быть, у неё, как и у человека, в результате этой эволюции появилось что-то духовное – то, что нас в ней так очаровывает... Как бы там ни было, а Долина гейзеров остается прекрасным и самым притягательным уголком нашего полуострова, и хочется надеяться, что она такой останется навсегда!

## Гидрогеология и модель Гейзерной гидротермальной системы

Из краткого вышеприведенного определения гидротермальной системы следует, что ее развитие предполагает наличие мощного источника тепла и геологической структуры, обеспечивающей формирование подземных вод. Очевидно, что источником тепла Гейзерной системы может быть магматический очаг, существующий длительное время в недрах Узон-Гейзерной депрессии (о чем говорилось выше), восточная часть которого непосредственно влияет на нагрев подземных вод. Водная составляющая гидротермальной системы образуется по известной схеме формирования обычных подземных вод.

На возвышенных участках рельефа, а ими являются входящие в бассейн р. Гейзерной вулканический массив Кихпинич, сопки Гейзерная, Останец, Открытая, Горное плато, атмосферные осадки, выпадающие в виде дождя и снега, просачиваются (инфильтруются) через почву на разные глубины в поры и трещины горных пород. Горные породы, поры и трещины которых заполнены водой, образуют водоносные пласты (горизонты). Первые от поверхности земли проницаемые горные породы содержат воды со свободной поверхностью или грунтовые (безнапорные) воды. Нижележащие проницаемые горные породы, разделенные плохо проницаемыми (водоупорными) отложениями, например глинами, как правило, полностью заполнены водой, находящейся под давлением. Это напорные или артезианские подземные воды. Так как обычно наблюдается чередование проницаемых и непроницаемых пород, то образуется несколько водоносных горизонтов или комплексов.

Конкретно в условиях бассейна р. Гейзерной выделяется пять водоносных комплексов. Первые четыре из них представляют собой горизонты грунтовых вод. Воды первого водоносного комплекса содержатся в экструзивных образованиях левого и правого бортов долины р. Гейзерной (сопка Гейзерная, Горное плато, экструзии левого борта). Породы характеризуются высокой трещинной проницаемостью, что создает условия для проникновения и накопления инфильтрационных вод. С этим горизонтом связаны многочисленные холодные источники. Так, на правом берегу в верховье оврага Желтых скал на контакте лав

экструзии Гейзерной с нижележащей толщей туфов находятся самые мощные холодные источники (фото 36). Дебит их достигает 100 л/с, температура воды равна всего 2 °С. Воды комплекса формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков. Химический состав их – гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевый с минерализацией до 100 мг/л и соответствует практически составу атмосферных осадков (табл. 3).

Второй водоносный комплекс близок к первому



36. Холодные источники на контакте трещиноватых лав экструзии и пемзовых туфов в ущелье Желтых скал

по составу водовмещающих пород, представленных риодацитами, базальтами и рыхлыми делювиальными отложениями склонов вулкана Кихпиныч и сопки Желтой. Воды этого комплекса также безнапорные, преимущественно трещинной циркуляции, которые образуют на склонах массива Кихпиныч нисходящие источники, обладающие небольшими дебитами. Химический состав холодных вод – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый с минерализацией, не превышающей 200 мг/л. Наряду с холодными водами на участках термоаномалий отмечаются разнообразные термопроявления, связанные с подъемом пара и газа к поверхности, конденсацией пара и растворением газа в грунтовых водах. Химический состав воды горячих водных и грязевых котлов сульфатный с различными катионами, включая аммоний и водород, и минерализацией 500–700 мг/л (например, ист. Черный), а водные источники имеют сульфатно-гидрокарбонатно-магниевый-натриевый состав с минерализацией до 900 мг/л (ист. Неожиданные).

Третий водоносный комплекс озерных отложений занимает в основном склоны долины р. Гейзерной, причем на левобережье – только бассейн руч. Водопадного. Псефитовые и агломератовые туфы комплекса содержат преимущественно холодные грунтовые воды. Они нагреваются только в зонах разломов и на участках прислонения озерных отложений к экстрезиям левого борта долины, где наблюдаются парогазовые струи. Здесь отмечаются источники с повышенной температурой и минерализацией воды. Типичные же источники комплекса имеют гидрокарбонатный кальциевый состав и минерализацию, как правило, не более 100 мг/л и небольшой дебит – до 0,5 л/с.

Четвертый водоносный комплекс грунтовых вод связан с докальдерными отложениями, распространенными в средней части левобережья р. Гейзерной. Вода циркулирует по трещинам и порам дацитовых лав и обвальнo-осыпных отложений. На площади распространения водоносного комплекса преобладают теплые и горячие источники, образование которых связано со смешиванием холодных вод с поднимающимся из глубины паром. Самыми яркими представителями комплекса являются термопроявления Верхне-Гейзерного поля.

Пятый водоносный комплекс напорных термальных вод связан с туфами озерных отложений первого этапа кальдерообразования и трещиноватыми лавами и туфами докальдерных образований. От водоносных комплексов грунтовых вод термальные воды отделены относительно водоупорными плотными (алевропелитовыми) туфами и лавами. Высокотемпературные напорные воды так же, как и обычные подземные воды, поднимаются к поверхности под действием гидростатического давления и выходят на поверхность по трещинам в водоупорной кровле в виде многочисленных гейзеров и кипящих источников (фото 37). Химический состав высокотемпературных вод – хлоридно-натриевый с общей минерализацией 1,8–2,2 г/л. Температура воды на глубине на участке разгрузки, рассчитанная по химическому со-

ставу воды источников с помощью так называемых геохимических геотермометров, достигает 150–180 °С. Так как температура кипения воды на поверхности не может превышать 100 °С, то избыточное теплосодержание воды с температурой 150–180 °С превращает часть воды в пар, который и выделяется вместе с водой кипящих источников и гейзеров. Возможна и чисто паровая разгрузка, если вышеуказанная высокая температура на глубине будет выше температуры кипения при данном гидростатическом давлении. В таком случае парообразование начинается значительно ниже поверхности, более легкий пар, отделившись от воды, поднимается вверх и по трещинам выходит на поверхность. Выходы пара наблюдаются в основном в верховьях долины р. Гейзерной, на ее высоких склонах и подножии вулкана Кихпиныч, там, где пьезометрический (напорный) уровень термального водоносного комплекса находится ниже поверхности. На участке преимущественно водной разгрузки паровые струи отмечаются на возвышенностях микро-рельефа.

Судя по расположению разнообразных поверхностных термопроявлений – от парогазовых струй и кислых сульфатных вод подножия вулкана Кихпиныч до хлоридно-натриевых кипящих источников нижней части бассейна р. Гейзерной, этот водоносный комплекс получил в его границах практически повсеместное распространение. Очевидно, существует единый поток гидротерм, движущийся от подножия вулкана Кихпиныч к низовью р. Гейзерной (зоне разгрузки). Температура восходящей его ветви от предполагаемого источника тепла (магматического очага) оценена также с помощью химического состава воды источников и состава газов и равна, в среднем, 250 °С (максимальная – 330 °С). Общая разгрузка высокотемпературных вод, определенная так называемым гидрохимическим методом, составляет величину около 300 л/с. В основе метода лежит определение поступления и выноса рекой химически устойчивого компонента высокотемпературной воды (в данном случае хлора). Концентрация хлора в термальной воде намного превышает его содержание в реке до зоны разгрузки. Расход хлора рассчитывался по содержанию хлора в устьевой части р. Гейзерной и ее расходу. Расход определялся путем измерения скорости гидрологической вертушкой и поперечного сечения реки. Так как в верховье реки содержание хлора в воде очень низкое (около 0,7 мг/л), можно считать, что практически весь хлор в устье поступает с разгружающейся термальной водой. Тогда ее расход можно рассчитать, разделив вычисленный расход хлора на концентрацию хлора в термальной воде. Например, в сентябре 1989 г. расход р. Гейзерной составил 3 340 л/с, содержание хлора в речной воде – 85 мг/л. Отсюда следует расход (вынос) хлора в 283 900 мг/с. Так как максимальное содержание хлора в разгружающейся термальной воде в виде кипящих источников и гейзеров достигает 900 мг/л, то общий расход (разгрузка) термальной воды составит:  $283\,900\text{ мг/с} : 900\text{ мг/л} = 315\text{ л/с}$ . В эту величину входит видимая разгрузка, то

Таблица 3. Химический состав подземных вод Долины гейзеров

| Место отбора пробы<br>Sampling site   | Температура,<br>T °C | pH   | Общая минерализация,<br>мг/л<br>mineralization<br>Mg/l | Содержание компонентов, мг/л. Component contents, mg/l |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
|---|----------------------|------|--|--|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|---|-------------------------------|-----------------|--------|------------------|
|   |                      |      |  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                           | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>+</sup> | Mg <sup>+</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | B      | SiO <sub>2</sub> |
| I водоносный комплекс (экструзивных образований четвертичного возраста). First aquiferous complex (extrusive Quaternary deposits)   |                      |      |  |  |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
| Источник Лавовый.<br>Lavovy (Lava) spring   | 1,0                  | 6,9  | 53,8   | < 0,1  | 2,4             | 0,9            | 2,4             | 1,4             | 15,9  | 2,4                           | 0,7             | 0,5    | 27,2             |
| II водоносный комплекс (четвертичных пирокластических пород и лав вулкана Кихпиньч). Second aquiferous complex (Quaternary pyroclastic rocks and lavas of the Kikhrinuch Volcano) |                      |      |  |  |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
| Нисходящий источник, лев. берег руч. Голубого (X участок).<br>Descending spring, left bank of the Blue Stream (site X)  |                      | 6,1  | 44,9   | 0  | 2,1             | 0,5            | 2,0             | 1,2             | 13,4  | 9,6                           | 0,7             | 0,08   | 15,3             |
| Источник Неожиданный верхний (X участок).<br>Upper Unexpected Spring (site X)   | 29                   | 6,32 | 814,1  | 0  | 45,3            | 31,4           | 44,1            | 38,9            | 355,0   | 139,2                         | 2,1             | –      | 158,1            |
| Источник Черный (X участок).<br>Black Spring (site X)   | 54                   | 4,66 | 939,2  | 0  | 40,2            | 9,8            | 52,2            | 20,7            | 9,8   | 547,2                         | 1,4             | –      | 211,2            |
| III водоносный комплекс (четвертичных вулканогенно-осадочных отложений). Third aquiferous complex (Quaternary volcano-genic sediments)  |                      |      |  |  |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
| Нисходящий источник, лев. склон руч. Водопадного.<br>Descending spring, left slope of the Vodopadny Stream  | 4                    | 6,58 | 74,8   | 0,1  | 4,6             | 1,5            | 3,6             | сл. traces      | 22,3  | 1,9                           | 3,5             | 0,4    | 36,9             |
| Нисходящие источники, лев. склон руч. Правого.<br>Descending springs, left slope of the Pravyy (Right) Stream   | 3                    | 7,0  | 195,5  | 0  | 3,9             | 1,2            | 4,4             | 2,2             | 31,7  | 3,8                           | 1,4             | –      | 52,2             |
| IV водоносный комплекс (локальных дацитовых лав). Fourth aquiferous complex (Pre-caldera lavas)   |                      |      |  |  |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
| Истоки руч. Медвежье.<br>Headwaters of the Medvezhy (Bear's) Stream   | 10                   | 6,5  | 56,5   | –  | 2,7             | 1,2            | 2,2             | 0,5             | 14,6  | 0,08                          | 0,7             | < 0,09 | 34,4             |
| Левый исток руч. Горячего (IX участок).<br>Left headwaters of the Goryachy (Hot) Stream (site IX)   | 26                   | 7,0  | 207,0  | < 0,1  | 16,1            | 4,3            | 10,0            | 4,3             | 59,8  | 38,4                          | < 0,7           | 0,17   | 73,1             |
| Водный котёл (IX участок).<br>Water Pot (site IX)   | 94                   | 3,11 | 4 082,3  | 506,9  | 46,0            | 17,4           | 278,6           | 83,9            | –   | 2492,8                        | 17,7            | 1,7    | 455,0            |
| V водоносный комплекс (термальный). Fifth aquiferous complex (thermal)  |                      |      |  |  |                 |                |                 |                 |   |                               |                 |        |                  |
| Гейзер Великан (VII участок).<br>Geyser Velikan (Giant) (site VII)  | кипение boiling      | 8,44 | 2 081,4  | 1,3  | 604,6           | 46,6           | 22,0            | –               | 68,0  | 161,4                         | 872,3           | 16,7   | 288,5            |
| Кипящий источник (VIII участок).<br>Bubbling spring (site VIII)   | кипение boiling      | 8,83 | 1 835,8  | 0,85   | 530             | 45             | 23,2            | 0,2             | 59,1  | 96                            | 773             | 19,8   | 288,7            |
| Гейзер Ворота в Гейзерную (III участок).<br>Geyser Vorota v Geysernuyu (Gate in Geysernaya River) (site III)  | кипение boiling      | 9,18 | 1 377,1  | 0,7  | 405             | 30,5           | 10,0            | 0,2             | 67,0  | 115,0                         | 546,0           | 15,2   | 187,5            |



37. Разгрузка высокотемпературных вод V водоносного (термального) комплекса. Кипящие источники и гейзеры Центральной части Долины гейзеров. На заднем плане слева гейзер Великан

есть сумма дебитов источников и гейзеров – около 100 л/с. Это самый крупный, известный на Камчатке, естественный вынос на поверхность высокотемпературной воды.

Напорный поток высокотемпературных вод, в сущности, определяет все особенности гидротермальной системы, под которой можно понимать в данном случае совокупность проявлений гидротермальной деятельности, наблюдаемой на поверхности и протекающей в ее недрах. Гидрогеологическая модель гидротермальной системы или более узко – модель формирования высокотемпературных вод можно представить следующим образом. Подземные воды глубинной циркуляции, образующиеся при инфильтрации атмосферных осадков в области вулканического массива Кихпинич, нагреваются за счет тепла магматического очага и формируют восходящий поток гидротерм с температурой 250–330 °С. Двигаясь к поверхности, к зоне разгрузки, они смешиваются в разных пропорциях с холодными водами и, охлаждаясь, в том числе за счет потери пара, приобретают характер латерального потока с температурой воды 180 °С (рис. 4).

В зоне разгрузки нагретая до высокой температуры вода поднимается к поверхности через трещины в водонепроницаемой кровле не только под действием гидростатического давления, но и за счет разли-

чия в объемных весах горячих и окружающих их холодных вод. Например, при температуре воды 200 °С объемный вес воды равен приблизительно 0,86 г/см<sup>3</sup>, то есть она легче на 14 % воды с температурой 0 °С. Горячая вода как бы всплывает, выталкиваемая холодной. Вода горячих источников и гейзеров, как показало изучение распределения изотопа водорода трития в природных водах бассейна р. Гейзерной, циркулирует в недрах не менее 600 лет. Для сравнения скажем, что водообмен холодных грунтовых вод осуществляется всего за 4–6 лет, свидетельствуя об их формировании в поверхностных условиях. Разнообразие термо- и водоявлений в бассейне р. Гейзерной объясняется тем, что река, прорезая водовмещающие толщи пород и вскрывая верхнюю часть гидротермальной системы от зоны восходящего потока до зоны разгрузки латерального потока гидротерм, создает условия для глубокого дренирования всех водоносных комплексов.

Гейзерная гидротермальная система по выносу тепла является одной из самых мощных на Камчатке. Как указывалось выше, величина общей разгрузки составляет около 300 л/с воды с температурой на глубине в среднем 250 °С. Относительно среднегодовой температуры воздуха (приблизительно 0 °С) вынос тепла составит 314 МВт. С учетом теплопотерь в верховье р. Гейзерной, не входящих в величину водной

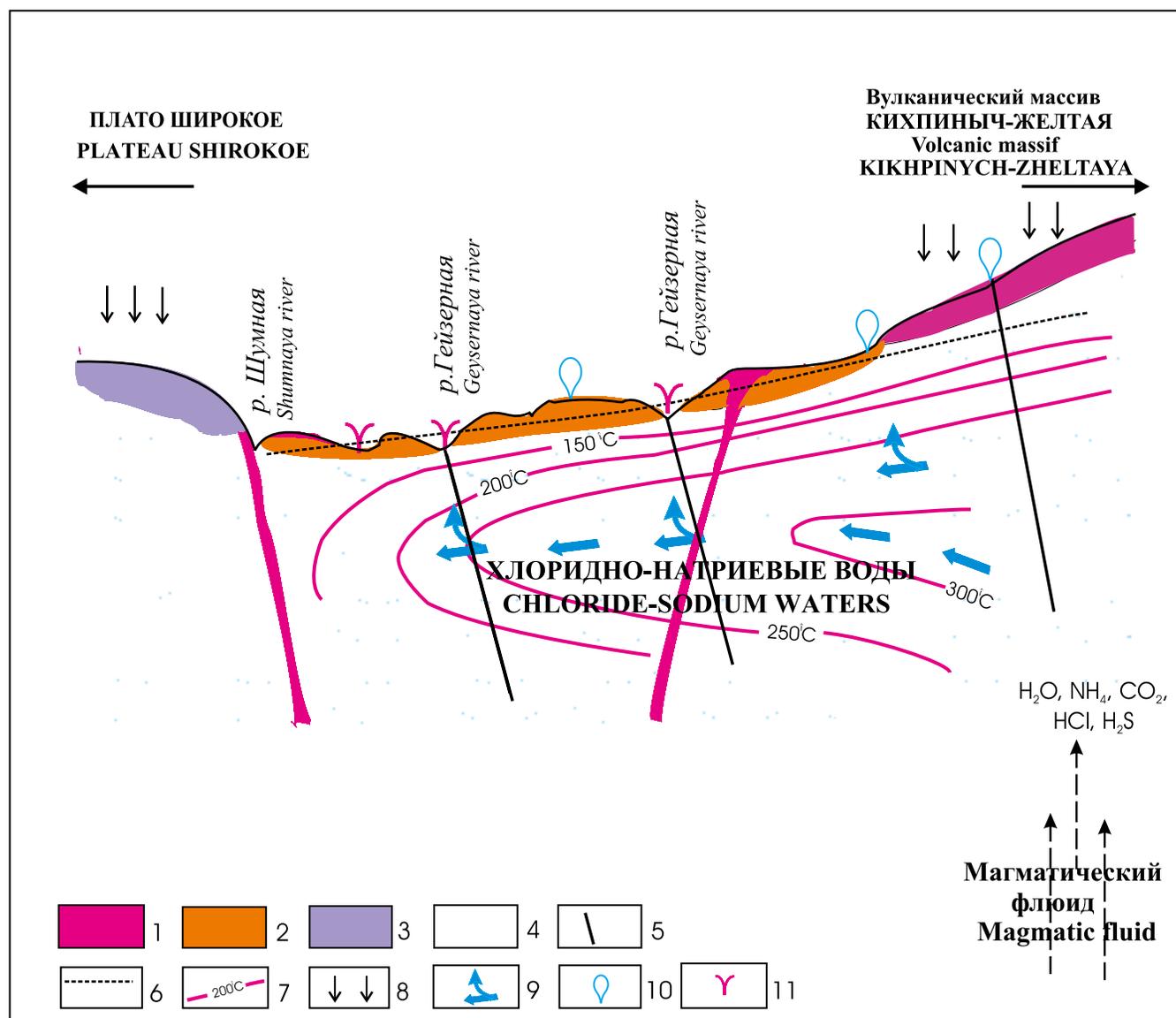


Рис. 4. Принципиальная модель Гейзерной гидротермальной системы:

1 – лавы, дайки андезитового состава – относительно водонепроницаемые (водоупорные) отложения; 2 – туфы, туффиты – относительно водонепроницаемые (водоупорные) отложения; 3 – туфы, лавы, игнимбриты – относительно водонепроницаемые (водоупорные) отложения; 4 – переслаивание туфов различной плотности, трещиноватые лавы и туфолавы – относительно водонепроницаемые (водоупорные) отложения; 5 – разломы; 6 – напорный (пьезометрический) уровень подземных термальных вод; 7 – изотермы; 8 – метеорные воды; 9 – направление движения термальных вод; 10 – выходы пара, парогазовой смеси; 11 – гейзеры, кипящие и горячие источники (разгрузка термальных вод)

разгрузки, суммарная величина выноса тепла составит 321 МВт.

Понятно, что вместе с горячей водой выносятся на поверхность (в р. Гейзерную и другие водотоки) и содержащиеся в ней в виде различных соединений химические элементы. Можно назвать несколько цифр,

чтобы показать масштаб выноса вещества современными гидротермальными системами. При расходе высокотемпературных вод 300 л/с в р. Гейзерную в сутки попадает 62 т растворенных веществ, в том числе 23 т хлора, 17 т натрия, 1,5 т калия, 0,6 т кальция, 0,6 т бора, 9 т кремниевой кислоты, 0,3 т серы.

## Гейзеры и другие термопроявления долины р. Гейзерной

Выше мы говорили о том, что выходящие на поверхность в виде источников и паровых струй высокотемпературная вода и пар гидротермальной системы обуславливают также нагрев грунта и поверхностных вод и ведут к образованию термоаномалий, так называемых термальных полей.

В среднем течении р. Гейзерной расположено *Верхне-Гейзерное поле* (IX, рис. 2). Оно занимает в основном левобережье реки, протянувшись на расстояние более 1,5 км. Формирование термального поля связано с воздействием пара, отделившегося от высокотемпературного водоносного комплекса, и поэтому здесь нет гейзеров и кипящих источников, а наблюдаются многочисленные мелкие выходы пара, участки парящего и нагретого грунта, грязевые котлы.

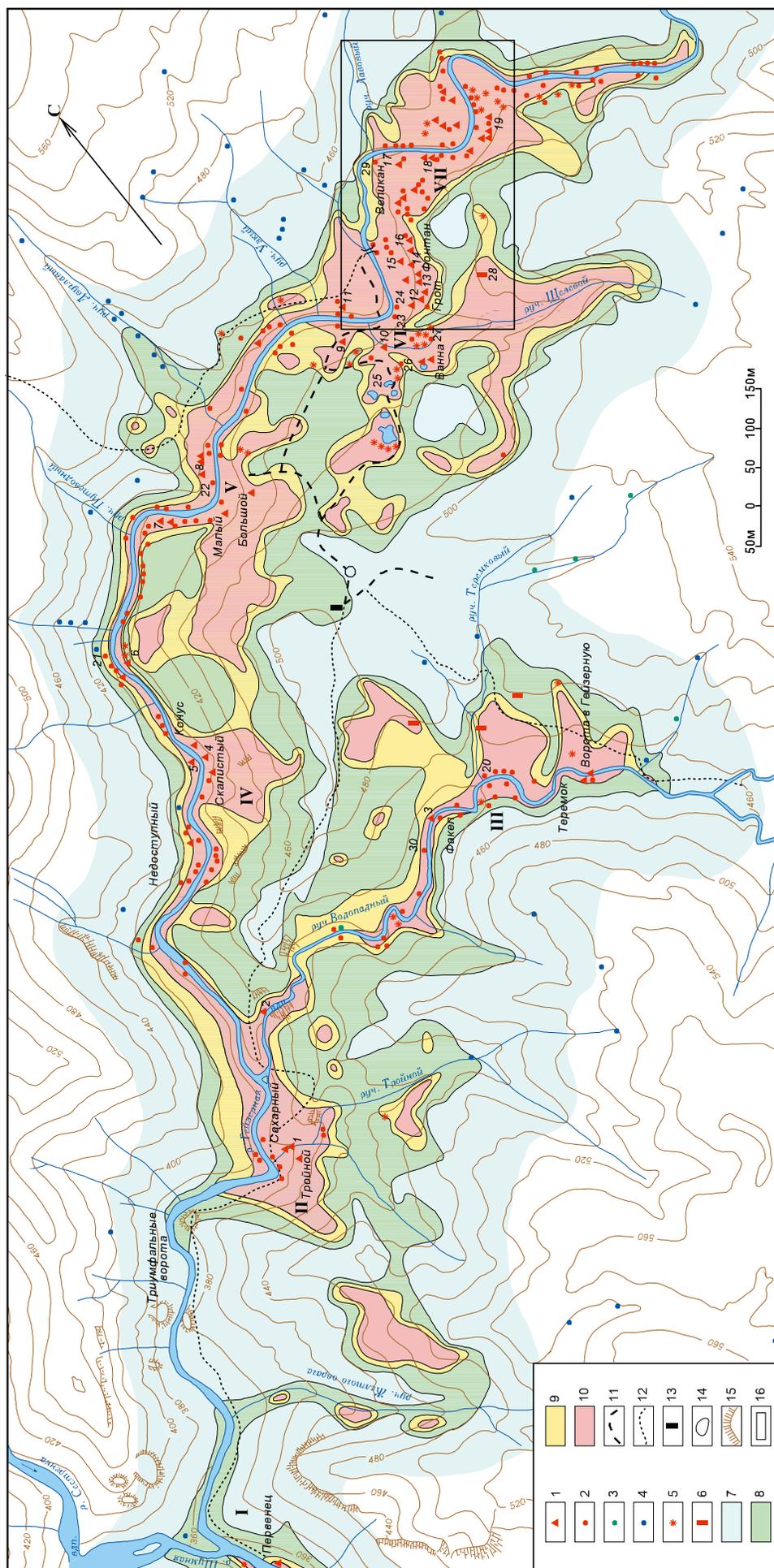
*Гейзерное термальное поле*, самое большое, начинается у впадения р. Гейзерной в р. Шумную и непрерывно прослеживается по обоим берегам Гейзерной на протяжении 4 км вверх по ее течению. Последние термопроявления в верховье зафиксированы на участке расположения гейзера Верхнего вблизи Трехкаскадного водопада и в 200 м выше его (I–VIII, рис. 2). Именно в этой части долины р. Гейзерной, абсолютные отметки которой изменяются от 350 до 580 м, происходит основная разгрузка (выход на поверхность) высокотемпературных подземных вод. Благодаря этому здесь главными и яркими поверхностными термопроявлениями являются разнообразные источники, горячие, кипящие, постоянные и пульсирующие, и, конечно, гейзеры. Участок долины р. Гейзерной, занятый Гейзерным термальным полем, где сосредоточены все гейзеры, получил собственное название – Долина гейзеров (фото 38, 39). Большая часть самых эффективных гейзеров, в том числе 19 из 20 обнаруженных и впервые описанных Т. И. Устиновой гейзеров, находятся в двухкилометровой приустьевой полосе – центральной части Долины гейзеров (рис. 2, 5). Здесь расположены и наиболее крупные кипящие пульсирующие источники и грязевые термальные котлы. Всего же на этом поле можно наблюдать работу более 60 гейзеров и более 30 крупных кипящих источников, четко выделяющихся своей индивидуальностью и имеющих соб-

ственное название, а также множества миниатюрных гейзеров, источников и грязевых термальных котлов.

Как известно, в деятельности гейзеров при всем их разнообразии общим является повторяемость всех стадий работы. Действие гейзера начинается изливом из верхней части канала воды, охлажденной в ходе предыдущего его извержения. Спокойный вначале излив постепенно нарушается отдельными выплесками воды и выделением пузырьков пара, за которыми часто следуют короткие перерывы в изливе, хотя с течением времени в целом наблюдается его усиление. Момент появления пузырьков пара в изливающейся воде свидетельствует о начале парообразования в канале гейзера. Когда парообразование, стимулированное уменьшением давления и повышением температуры за счет притока все более горячей воды, охватит большую часть канала, начинается вторая стадия – бурное кипение, переходящее в фонтанирование пароводяной смеси, то есть происходит извержение гейзера. За короткий, как правило, период извержения из канала выбрасывается огромное количество воды и пара по сравнению с расходом воды при изливе. После извержения из



38. Центральная часть Долины гейзеров. Зимой наиболее активные термальные площадки хорошо заметны по проталинам в снеговом покрове



**Рис. 5. Термопроявления и термальные участки Долины гейзеров:**

1 – гейзер; 2 – кипящий источник; источник с температурой:

3 – 50–100 °С, 4 – 20–50 °С, 5 – грязевый котёл;

6 – парогазовая струя; участки нагретой почвы с температурой на глубине 1 м:

7 – менее 20 °С, 8 – 20–50 °С, 9 – 50–70 °С, 10 – более 70 °С;

11 – тропа с дощатым настилом; 12 – тропа; 13 – домик лесника; 14 – уступ левого борта долины р. Гейзерной;

15 – вертолётная площадка; 16 – границы карты участка Центрального (VII).

Красный пунктир – граница оползня и грязекаменной лавины, произошедших 3 июня 2007 г., сплошная синяя линия – контур запрудного озера.

Цифрами на карте обозначены:

гейзеры – 1 – Сосед; 2 – гейзер у Водопада; 3 – Малютка; 4 – Текучий; 5 – Большая Печка; 6 – Буратино; 7 – Красный; 8 – группа карликовых гейзеров стенки Пийты; 9 – Щель; 10 – Гротик; 11 – Пятиминутка; 12 – Бастюнь; 13 – Новый Фонтан; 14 – Непостоянный; 15 – Двойной; 16 – Аверьевский; 17 – Жемчужный; 18 – Горизонтальный; 19 – Розовый Кокус; источники – 20 – Теремок; 21 – Ромео и Джульетта; 22 – Малая Печка; 23 – Малахитовый Грот; 24 – Многоструйный; 27 – Коварный; 29 – Парящий; грязевые котлы – 25 – Большой грязевый котел (Красный); 26 – пульсирующий источник в ямах (Врата Ада); 28 – парогазовая струя (Флотер)



© Сурабов В. М.

39. Общий вид Долины гейзеров на Центральном участке. В центре Площадка фонтанов (Витраж), на дальнем плане: слева – ущелье Желтых скал, справа – обрывы левого борта долины р. Гейзерной

опорожненного канала некоторое время выделяется пар (стадия парения) и затем следует четвертая стадия – наполнение канала новыми порциями горячей воды. Далее мы наблюдаем повторение описанной картины работы гейзера.

Несмотря на сходный характер действия гейзеров проявление каждой стадии работы конкретного гейзера сугубо индивидуально. Это касается прежде всего продолжительности полного цикла действия гейзеров, называемого периодичностью и измеряемого временем, которое проходит между одинаковыми стадиями настоящего и последующего циклов, например между стадиями фонтанирования. Гейзеры в Долине гейзеров заметно отличаются друг от друга своей периодичностью, которая изменяется от нескольких часов (гейзер Великан) до нескольких минут (гейзер Пятиминутка).

Однако самые ясные видимые различия проявляются в характере извержения пароводяной смеси и строении верхней части канала гейзеров. Извержение занимает обычно время от нескольких секунд до нескольких минут. Но какие разные эти секунды и минуты в действии каждого гейзера! У одних – это лишь слабые выплески кипящей воды, у других – мощные многоструйные фонтаны кипящей воды, бьющей на

высоту 10–25 м, и столбы пара, поднимающегося на высоту 100–300 м (например, Великан, Большой, Малый, Тройной, Первенец). Строение выходной части каналов гейзеров настолько разнообразно и живописно, что легло в основу их оригинальных названий. Особенно это характерно для гейзеров, каналы которых на поверхности имеют вид достаточно больших воронок (ванн) или сложены гейзеритовыми постройками, отличающимися размером, цветом, формой. Таковы гейзеры Жемчужный, Конус, Розовый Конус, Сахарный, Ванна, Большой.

Следует отметить, что подавляющее число гейзеров, крупных постоянных и пульсирующих источников расположены на левом берегу р. Гейзерной, причем самые мощные из них приближены к реке. На более высоких отметках встречаются небольшие источники и гейзеры, выше которых находятся только выходы пара. Нетрудно заметить, что в пределах обширного Гейзерного поля гейзеры и другие термопроявления сосредоточены на отдельных участках. В свое время первооткрыватель Долины гейзеров Т. И. Устинова выделила 8 таких участков. Вслед за нею ниже мы ведем описание термопроявлений по этим же участкам, начиная от устьевой части р. Гейзерной.

## Участок Приустьевой (I)

Единственный термальный участок, лежащий за пределами долины р. Гейзерной, расположен на левом берегу р. Шумной, в 60 м ниже впадения в нее Гейзерной (фото 40). На термальной площадке, размеры которой по изотерме 70 °С на метровой глубине всего 10 x 30 м, находится один гейзер – Первенец. Это первый гейзер, встреченный Т. И. Устиновой в 1941 г., отчего и получил свое название. Других активных термопроявлений здесь нет. Отмечаются лишь признаки разгружающихся термальных вод: повышенные температуры грунта, зеленые водоросли в русле у берега, белые кремнистые налеты на камнях.

*Гейзер Первенец* расположен в 5 м от реки, в 1 м выше ее уровня. Выходное отверстие канала гейзера можно заметить среди обломков и отдельных глыб горных пород, выделяющихся на относительно ровной поверхности площадки. Окружающие его горные породы покрыты корочками гейзерита. Одна из глыб козырьком нависает над воронкой. Действие гейзера протекает так. Извержение начинается стремительно, мощно (фото 41). Пароводяные струи, сменяя друг друга, вздымаются на 15 м под углом 45° к реке. Пар в безветренную погоду поднимается на высоту более 150 м. Фонтанирование длится около трех минут, причем в последнюю фазу в пароводяном фонтане преобладает пар. За фонтанированием следует стадия парения, характеризующаяся выделением пара и отдельными выплесками воды и глухим рокотом уходящих в глубину охлажденных водных струй (капель). Начавшийся перерыв в извержении продолжается заполнением канала новыми порциями воды (стадия наполнения), после чего начинается излив воды и наступает более активная видимая деятельность гейзера. Сначала излив идет спокойно, затем с интенсивным кипением, которое сменяется новым извержением. Стадия наполнения продолжается 18–20 мин, стадия излива – 31–33 мин. За многолетний период наблюдений замечено, что при неизменном характере извержения гейзера продолжительность цикла изменялась в широких пределах. Эпизодически Первенец работал в пульсирующем режиме, то есть постоянно, без перерывов.

Красоту гейзера подчеркивает живописная долина р. Шумной, воды которой стремительно проносятся у самого выхода кипящего фонтана. Крутые, местами

обрывистые берега образуют выше впадения Гейзерной теснину, через черные скалы которой прорывается р. Шумная в белом облачке брызг падающей с высоты воды. Справа виден пологий водопад-водослив в устье р. Сестренки. Если смотреть на Первенец с места ниже по течению р. Шумной, то нельзя не заметить на левом обрывистом склоне причудливый останец озерных отложений Царевна Лягушка (фото 41).



40. Долина р. Шумной у слияния с Гейзерной. В центре – порожистое русло реки после водопада



41. Долина р. Шумной на участке гейзера Первенца. На заднем плане останец дайки Царевна Лягушка

## Участок Тройной (II)

Между первым и вторым участками в долине р. Гейзерной нет активных термопроявлений. Только узкая полоса нагретого грунта с температурой на глубине 1 м, равной 20–50 °С, протягивается на расстояние

более 400 м вдоль берегов Гейзерной. Поверхностные термоаномалии, местами с парящим грунтом, прослеживаются еще и по долине руч. Желтый Овраг, впадающего слева в Гейзерную в 150 м от ее устья. Особой

достопримечательностью этого участка долины Гейзерной является место, где река прорезает дамбу дацитов, образуя отвесные скальные берега – «щеки» высотой около 35 м. Естественное сужение служит своего рода воротами в Долину гейзеров, которое со временем получило настоящее название – *Триумфальные ворота* (фото 34). В 100 м выше по течению на левом берегу возвышается скала с вертикальным обрывом к реке, представляющая собой также дамбу, именуемая иногда вторыми воротами в Долину гейзеров. Заметим, что тропа к гейзеру Первенцу проложена над рекой на уровне верхнего края упомянутых скальных обрывов. За поворотом реки, еще выше по течению, в 120 м, начинается собственно термальный участок Тройной. Далее, до участка гейзера Верхнего, прослеживаются почти непрерывно, сменяя постоянно друг друга, небольшие источники, крупные гейзеры, грязевые котлы и другие термопроявления.

На II участке находятся три известных гейзера: Тройной, Сахарный и Сосед. Гейзеры Сахарный и Сосед справа и Тройной слева разделяет горячий ручеек Тройной, впадающий в Гейзерную. Долина реки здесь имеет крутые, лишенные растительности склоны, сложенные на поверхности глинистыми породами. Температура грунта на глубине 1 м превышает 70 °С. В бассейне руч. Тройного, кроме названных гейзеров, отмечаются небольшие пульсирующие источники, площадки парящего грунта.

*Гейзер Тройной* расположен в 30 м от реки на высоте 11 м над ее уровнем. Деятельность гейзера привела к образованию мощного гейзеритового щита, полого спускающегося от гейзера к реке. Это самая красивая и самая большая (площадь более 100 м<sup>2</sup>) гейзеритовая постройка. Она выделяется разнообразным рисунком, формой и цветом гейзерита. Впечатляет и извержение гейзера, происходящее в виде одновременного выброса из трех отверстий на высоту 7–10 м мощных пароводяных струй, косо направленных в сторону реки (фото 42, 43). Фонтанирование длится 4–6 мин, причем в первую минуту оно наиболее интенсивно. Сначала выброс пароводяной смеси идет активнее из правого отверстия (если смотреть от реки), затем из центрального. После короткой стадии извержения и столь же короткой стадии парения (около 5 мин) наступает продолжительный период заполнения канала гейзера и излив. Время полного цикла Тройного изменяется от 2 ч до 3 ч 40 мин.

*Гейзер Сахарный* находится на вершине гейзеритового, со сглаженной поверхностью конуса. Воронка гейзера окаймлена глыбами горных пород, сцементированными и покрытыми гейзеритом бледно-розового цвета (фото 44). Ритм работы гейзера отличается непостоянством. Периодичность изменяется от 2 до 24 мин при средней продолжительности цикла – 3 мин. Наполнение канала после извержения происходит толчками, неровно, кипящая вода периодически выплески-



42. Три пароводяных струи поднимаются над величественной гейзеритовой постройкой во время извержения гейзера Тройного



43. Красочный гейзерит гейзера Тройного

вается за края воронки, создавая впечатление ложного извержения. Пароводяная смесь во время короткого (несколько секунд) извержения поднимается на высоту 2–3 м, после чего воронка гейзера опустошается.

*Гейзер Сосед* расположен в 4 м выше по течению ручейка от Сахарного на общем с ним гейзеритовом основании (фото 45). Серый и розоватый гейзерит Соседа выделяется на фоне красных и желтых глин и зеленой травы, окружающих площадку гейзера. Здесь же, среди травы, можно видеть горячие водные котлы. Выходное отверстие канала имеет вид щели размером



44. Гейзер Сахарный

0,5 x 1 м. Цикл работы гейзера также неравномерный. В нем можно выделить стадию фонтанирования длительностью в две минуты, в течение которой пароводяная смесь выбрасывается наклонно вдоль склона на высоту более 3 м. Заполнение канала водой длится



45. Извержение гейзера Соседа рядом с Сахарным (слева)

несколько минут, затем происходит излив (несколько секунд) и кипение, переходящее в извержение. За длительный период наблюдений отмечены значительные изменения в продолжительности цикла действия – от 3 минут до 1 ч 40 мин при средней величине 25 мин.

## Участок термоявлений ручья Водопадного (III)

В 100 м выше от руч. Тройного в Гейзерную впадает самый крупный левый ее приток – руч. Водопадный. Приблизительно в 110 м от устья вода ручья, не успев проточить твердые породы, срывается с высоты 28 м красивым водопадом (фото 46). На данном отрезке долины Гейзерной это, пожалуй, самое примечательное место. У подножия водопада справа видна пароводяная струя небольшого пульсирующего источника, бьющая в сторону ручья, а в нескольких метрах ниже можно наблюдать работу гейзера У водопада.

Термальный участок, начинаясь с приустьевой части Водопадного, протягивается узкой полосой по его долине до среднего течения на расстоянии 750 м. Отмеченные здесь все виды поверхностной гидротермальной активности имеют миниатюрное исполнение. Так, можно



46. Водопад на руч. Водопадном

встретить едва заметные среди травы, глины или обломков гейзерита мельчайшие кипящие источники, часто обнаруживаемые только по легкому парению или характерному звуку булькающей воды. В изобилии наблюдаются небольшие грязевые котлы, различного рода воронки и ванночки, заполненные горячей и кипящей водой, отгороженные низким ободком гейзерита. Иногда они расположены на характерных, различного размера округлых гейзеритовых или глинистых куполах, наклоненных к ручью. Стекающая по их поверхности горячая вода в окружении термофильных водорослей и разноцветных обломков камней и гейзерита придает им удивительно красочный вид. Разумеется, интересны здесь и отдельные крупные источники и гейзеры. Среди последних названный выше У водопада, а также Малютка, Плоский, Теремок, Ворота в Гейзерную.

*Гейзер У водопада* расположен близ уреза левого берега ручья. Он легко обнаруживается по гейзеритовой постройке трапецевидной формы высотой в 1,5 м. В стенке постройки имеются три отверстия, соединяющиеся с каналом гейзера, из которого поступает нагретая вода. Среднее и верхнее отверстия находятся рядом, и вода в них появляется одновременно, хотя из нижнего отверстия пароводяная смесь вырывается первой. Извержение продолжительностью около 4 мин происходит невыразительно. Неравномерный выброс пароводяной смеси достигает высоты всего 0,5 м. Перерыв (стадии парения и наполнения) длится 18 мин, излив – 5–9 мин. Средняя периодичность гейзера – 27 мин.

Выше по ручью, за большим водопадом, в 220 м от него находится один из самых интересных *пульсирующих источников* – *Аверий*. Назван он в честь вулканолога В. В. Аверьева. По пути к нему можно видеть скромный водопад высотой всего 1,7 м и небольшие термальные источники и грязевые котлы. Вид источника менялся с течением времени. В первые годы наблюдений он располагался в русле. Горячая вода выплескивалась из-под галечника в русле, прогревая воду ручья в этом месте. В настоящее время рассредоточенный выход воды, температура которой достигает 95 °С, происходит из развалин травертиновой постройки на правом берегу. Ниже источника обычно фиксируется самая высокая температура воды ручья. Водопадного – 30–35 °С и даже 41 °С (в зимнее время).

Далее, выше по долине ручья, наблюдаются близ русла неприметные пульсирующие кипящие источники, а в 100 м от последнего названного источника на правом берегу выделяется *гейзер Малютка*, продолжительность действия которого составляет всего одну минуту, извержение – 20 с, перерыв – 40 с. От этого гейзера сразу за поворотом ручья видна белая широкая лента изящного водопада высотой около 3 м. Перед ним на левом берегу ручья находится примечательный

*источник Факел*, пароводяная струя которого в виде вертикального пульсирующего фонтанчика выбрасывается на высоту 2 м из отверстия в крутой стенке склона (фото 47).



47. Кипящий пульсирующий источник Факел на левом берегу ручья. Водопадного

Следующая активная группа термопроявлений приурочена к месту впадения в Водопадный справа ручья Теремкового. Верхняя часть склона до высоты 40 м между Водопадным и левобережьем ручья Теремкового обнажена и сложена разноцветными глинами. Здесь можно встретить площадки парящего грунта, парогазовые струи, грязевые и водные котлы. В устье ручья Теремкового расположен одноименный пульсирующий кипящий *источник Теремковый* (фото 48). Небольшая основная струя кипящей воды периодически выплескивается из отверстия в середине конусовидной постройки источника и вместе с водой, выходящей из более мелких отверстий, стекает по ложбинкам, окруженным разноцветными термофильными водорослями. Подобные прислоненные конусы, светло-серые от кремнистых натеков, но с очень маленькими, капельными выходами термальной воды отмечаются и выше вдоль берега Водопадного на протяжении 20 м. Напротив, на другой стороне ручья, в излучине, на поверхности куполообразного поднятия отмечаются небольшие кипящие источники и котлы и миниатюрный *гейзер Плоский*. Горячая вода в стадию излива появляется из отверстия диаметром 10 см, отороченного бортиком из обломков гейзерита и глины. Извержение начинается со слабо выраженного кипения, которое, усиливаясь, приводит к выталкиванию воды за края воронки. В период покоя канал опустошается на несколько секунд. Средняя продолжительность цикла 2 мин, извержение – 50 с.

Дальше вверх по течению ручья, за его зигзаго-



48. Пульсирующий источник Теремковый в долине руч. Водопадного

образным поворотом, примерно в 100 м от местоположения гейзера Плоского начинается последняя или первая (от верховьев Водопадного) площадка с достаточно яркими термопроявлениями. На левом берегу выделяется прислоненный к обрывчику, сложенному коренными горными породами (туфами), конус высотой 1,2 м, покрытый корочкой гейзерита. Верхняя его часть открывается округлым отверстием 40 см в диаметре и глубиной 85 см. Это *гейзер Теремок*. Действие гейзера в основном проходит в режиме пульсирующего источника, характерного тем, что отдельные выплески поднимаются на высоту 40 см, выбрасывая

воду за края воронки. Редкие извержения начинаются неожиданно. По всей поверхности воронки взмывают струи кипящей воды на высоту более полуметра. Фонтанирование обычно продолжается 50 с, а полный цикл – 1 ч 20 мин. Рядом, в 10 м выше от этого гейзера, на левом берегу расположен пульсирующий источник *Ворота в Гейзерную*. Источник имеет плоскую воронку, в которой кипит, пульсирует вода и периодически подбрасывается на несколько сантиметров вверх.

И, наконец, напротив источника действует гейзер с тем же названием. И гейзер, и источник лежат на старой тропе, идущей вдоль руч. Водопадного от горного плато в Долину гейзеров. Они были первыми для всех, кто по этому пути спешил попасть в удивительный мир гейзеров. Отсюда и название, которое дал В. Н. Виноградов, впервые характеризующее их деятельность. *Гейзер Ворота в Гейзерную* находится вблизи русла, в небольшой воронке, стенки которой сложены обломками пород, сцементированными кремнистыми осадками. Извержение гейзера происходит как интенсивное кипение

с высотой всплесков воды до 30 см. Продолжительность его цикла непостоянна. В настоящее время гейзер работает с чередующейся периодичностью в 13 и 50 мин. Малый цикл включает короткое извержение продолжительностью в 1 мин, тогда как извержение большого цикла длится 32 мин.

Выше по течению, в 100 м от гейзера и источника Ворота в Гейзерную, заканчивается термальный участок. Далее руч. Водопадный, лишенный притока термальных вод, становится обычным холодным горным ручьем. В верхней части его бассейна отсутствуют заметные термопроявления.

## Участок Скалистый (IV)

Вверх по течению от устья Водопадного долина Гейзерной снова сужается, крутые склоны поднимаются по обоим берегам сразу от уреза воды. На прямом, почти 150-метровом отрезке реки, текущей здесь в южном направлении, наиболее яркими термопроявлениями являются на левом берегу *кипящий источник Сквородка* и небольшие высачивания воды на противоположном берегу. Термальный участок начинается на следующем за поворотом под прямым углом 100-метровом отрезке реки западного направления с появления на левом и правом берегах небольших по дебиту кипящих пульсирующих источников. Поверхностные термоаномалии с температурой грунта на глубине 1 м более 70 °С протягиваются узкой полосой вдоль реки,

заметно расширяясь на левом склоне в начале участка, у гейзера Скалистого, и в конце, напротив пульсирующего источника Ромео и Джульетта. На IV участке находятся описанные Т. И. Устиновой гейзеры Конус, Скалистый и Большая Печка, а также зарегистрированные позднее гейзеры Недоступный, Текучий, Бурадино и карликовые гейзеры.

Первым на участке встречается *гейзер Недоступный*, описанный Н. Г. Сугроровой в 1976 г. На правом склоне долины, на изгибе реки, на высоте 10 м над урезом воды можно видеть фонтан этого гейзера. Высота его достигает 1 м. Фонтанирование длится 40 с, излив с кипением – 90 с, перерыв в извержении 13–16 мин. Средний цикл его работы составляет около 14 мин.

На противоположном берегу расположена активная термальная площадка с несколькими постоянными кипящими источниками. Среди них *Двухручейный*. Вода, выходя из щелевого отверстия в склоне на высоте 1,5 м от реки, растекается двумя ручьями. Общий расход ручейков составляет 1,5 л/с.

Выше по реке на левом берегу находится *гейзер Скалистый* (фото 49). Он расположен в 10 м над уровнем реки в скалистой части склона. Гейзер работает как в пульсирующем, так и в прерывистом режиме. Извержение почти не отличается от излива кипящей воды. В момент фонтанирования пароводяные струи взлетают на высоту до метра, и выделяется больше пара по сравнению с изливом. Потоки кипящей воды, стекающие по постройке гейзера, практически непрерывны. Лишь на несколько секунд деятельность гейзера прекращается. Продолжительность цикла изменяется от 7 до 15 мин. Расход ручья в максимальную стадию излива достигает 20 л/с.

У подножья гейзеритовой постройки Скалистого вблизи уреза реки находится мощный *кипящий источник Подскальный*. Его расход составляет около 5 л/с. На правом берегу, в 20 м выше по реке от гейзера Скалистого, в нескольких сантиметрах от уреза воды сохранилась щель, похожая на печное отверстие. Это бывший выход на поверхность *гейзера Большая Печка*. Он прекратил свою деятельность после мощного циклона Эльза в 1981 г., во время прохождения которого канал гейзера был забит твердыми взвешенными частицами р. Гейзерной. Когда гейзер еще извергался, его почти горизонтальные струи воды и пара, бьющие над рекой, были необычайно красивы (фото 50).

На левом берегу Гейзерной, напротив гейзера Большая Печка расположены гейзеры Конус и Текучий. *Гейзер Конус* отличается красотой и соразмерностью кипящего фонтана и гейзеритовой постройки. Последняя более всего напоминает конус высотой около 1,5 м, срезанная вершина которого и представляет собой отверстие канала. Изящный гейзерит покрывает всю поверхность конуса (фото 51). Привлекательный вид постройки дополняется не менее красивым зрелищем извержения гейзера, особенностью которого является энергичный выброс на высоту более 2 м пароводяной смеси с крупными, летящими во все стороны каплями воды (фото 52). Продолжительность полного цикла действия гейзера изменяется в пределах 18–25 мин, чаще равняясь 24 мин. Стадия излива занимает 2–3 мин, стадия наполнения (покоя) – 19 мин.

Вблизи Конуса, в 15 м ниже по течению от него, на той же отметке находится малоприметный *гейзер Текучий*, впервые нами зафиксированный в 1976 г. Кипящая вода выходит из треугольной формы щели размером 10 x 10 x 10 см в рывтине заросшего травой склона. Отверстие



49. Извержение гейзера Скалистого



50. Гейзер Большая Печка. Снято до его исчезновения в 1981 г.



51. Гейзеритовая постройка гейзера Конуса



52. Крупные капли горячей воды в фонтане пароводяной смеси отличают извержение Конуса

обрамляет свод из темно-зеленых термофильных водорослей. В действии гейзера выделяется излив воды с кипением в течение 15 мин, в ходе которого в конце отмечается нарастание расхода и затем резкий переход в извержение. Последнее отличается от излива увеличенным расходом и выплесками воды из воронки и длится 2 мин. Полный цикл действия гейзера составляет 22 мин, хотя отмечались и более продолжительные циклы до 30–47 мин. Вдоль русла ручейка гейзера наблюдаются корочки гейзерита.

В 50 м от гейзера Конуса, выше по реке, на правом берегу отмечен еще один пульсирующий кипящий источник – Каменка. Выход источника теряется в груде крупных обломков горных пород, расположенных вблизи уреза воды реки. Вода источника, расход которого периодически увеличивается, стекает между камнями в реку. Над ним постоянно поднимаются клубы пара. Чуть выше Каменки на правом берегу располагается ряд мелких выходов кипящей воды. Среди них выделяется пульсирующий источник под большим камнем, воронка которого напоминает отверстие печки, – Нечаевский. Еще выше по реке, в 80 м от Камен-

ки, на левом берегу расположен гейзер Буратино. От Буратино до Скалистого р. Гейзерная течет в южном направлении на протяжении около 200 м. Данный отрезок реки характерен тем, что крутые склоны долины местами подходят к реке обрывами высотой 1–4 м и к ним приурочены все находящиеся здесь источники. Особенно это относится к левому берегу. Что же касается правого берега, то обрыв выражен на участке напротив гейзера Буратино, где отмечены карликовые гейзеры и источник Ромео и Джульетта. Здесь прирусловая часть долины несколько выполаживается.

Гейзер Буратино находится в излучине Гейзерной на высоте 4,5 м над рекой. В выположенной нижней части склона, в 8 м от реки видна щель, являющаяся выходом канала гейзера. Постройка его выглядит как груда беспорядочно сложенных камней, покрытых корочками гейзерита. В момент извержения гейзер выбрасывает немного наклонные вдоль склона пароводяные струи на высоту до 2,5 м. Фонтанирование продолжается одну минуту, полный цикл действия – 6–10 мин.

Напротив Буратино, в прирусловой части правого склона долины реки можно видеть характерные для Долины гейзеров выходы термальной воды в виде очень маленьких источников и гейзеров в обрывах, поверхность которых сложена гейзеритом или кремнистыми натекками, образованными при выпадении растворенного кремнезема из термальных вод. Т. И. Устинова называет их стенками или склонами



53. На правом берегу Гейзерной выделяется пульсирующий источник Ромео и Джульетта

*карликовых гейзеров.* В данном случае в такой стенке протяженностью 10 м и высотой около 4 м помимо мельчайших источников находятся три миниатюрных гейзера. Извержение их происходит в виде излива или слабых выплесков воды из отверстий. Для первого средний цикл равен 8 мин, второго – несколькими секундам, третьего – 31 мин. По соседству с ними, выше по течению на правом берегу холодного ручейка в его устьевой части, в 7 м от реки можно наблюдать два рядом расположенных пульсирующих источника. Оба выхода воды находятся на высоте 2,5 м от ручейка в обрывистом его склоне, по которому в обрамлении

кремнистых натеков стекают два парящих ручейка. Эти источники удачно названы В. Н. Нечаевым *Ромео и Джульетта* (фото 53).

От нижней границы следующего (V) участка, устья руч. Путеводного, удаленного от источника Ромео и Джульетта на 160 м, река течет в юго-западном направлении, русло изобилует перекатами, преимущественно на левом берегу, усеянном крупными глыбами горных пород, встречаются небольшие кипящие источники. Поверхностная термоаномалия с температурой более 70 °С на глубине 1 м тянется узкой полосой вдоль реки.

## Участок Лагерный (V)

Верхняя по реке граница участка проходит по устью руч. Двуглавого, справа впадающего в Гейзерную. От этого ручья река течет на протяжении 100 м в юго-западном направлении, затем круто поворачивает на северо-запад и только через 100 м, перед руч. Путеводным, снова меняет свое направление на юго-западное. Склоны долины по-прежнему крутые, вблизи русла также отмечаются невысокие обрывы. Поверхностная температурная аномалия, несколько расширяясь, также отмечается по обоим берегам, а приблизительно в середине участка по левому борту ее граница поднимается высоко, почти достигая домика лесника и вертолетной площадки. Самыми значительными гейзерами участка, несомненно, являются Малый и Большой, впервые охарактеризованные Т. И. Устиновой.

*Гейзер Малый* расположен примерно на середине вышеописанного отрезка р. Гейзерной, на крутом ее изгибе, на левом берегу. Воронка канала гейзера видна на небольшой площадке перед резким подъемом склона на высоте 6 м и на расстоянии 15 м от реки. Она имеет округлую форму размером 1 х 2 м при видимой глубине в 1 м. От воронки в сторону реки тянется сероватый шлейф кремнистых и гейзеритовых натеков, обволакивающих бугристую неровную поверхность скопленных глыб горных пород (фото 54). Особый эффект извержения Малого заключается в мощных стремительных выбросах струй пароводяной смеси, поднимающихся на высоту более 10 м и косо падающих к реке (фото 55, 56). Выделяющийся при этом пар плотным белым столбом вздымается на высоту 40–100 м и более в зависимости от погодных условий. Во время излива и извержения ручейки горячей воды стекают по всей ширине гейзеритового щита. Общий расход воды в стадию фонтанирования составляет 70 л/с.

Извержение, сопровождаемое шелестящим шумом, происходит в течение 4–6 мин. В последующие 6–7 мин наблюдается интенсивное выделение пара, в конце которого из осушенной воронки доносится глухой рокот движения воды на глубине. Через некоторое время на дне воронки появляется вода и заполняет ее до краев. Этот период длится около 20 мин. Затем начинается излив, продолжающийся около 4 мин и заканчивающийся энергичным кипением с выделением большого количества пара и периодическими выплесками воды за края воронки. Вновь начинается фонтанирование. Полный цикл работы гейзера по данным многолетних наблюдений был достаточно стабильным и равнялся 32–37 мин.



54. Воронка канала гейзера Малого перед началом извержения



55. Извержение гейзера Малого



56. Причудливые струи воды в извергающейся пароводяной смеси гейзера Малого

Гейзер Большой находится в ложбине левого склона долины на высоте более 11 м от реки, в 40 м от нее и на таком же удалении от гейзера Малого выше по течению Гейзерной. Отверстие канала гейзера нахо-

дится на невысоком куполовидном поднятии в центре верхней части ложбины, по которой в периоды излива и извержения идет сток воды. Так же, как на гейзере Малом, выступающие обломки горных пород, покрытые кремнистыми натекками и гейзеритом, образуют неровную, бугристую поверхность ложбины. Этот ложбинообразный спуск к реке, имея несколько перегибов и множество миниатюрных выступов, в момент стока воды превращается в подобие многокаскадного водопада, а на выположенных участках перегибов возникают эфемерные горячие ванночки. Верхняя видимая часть канала гейзера представляет собой достаточно объемную чашу с неровными краями, имеющую в плане очертание неправильной линзы размером 1,5 x 3,5 м и глубину более 1,5 м. Купол и края чаши (воронки) некогда были покрыты гейзеритом, сейчас на поверхности видны серо-зеленые туфы (фото 57).

Отличие в размере верхней части канала рядом расположенных эффектных гейзеров Большого и Малого послужило, вероятно, основой для названий, данных им Т. И. Устиновой.

Активный период действия гейзера начинается с излива из воронки практически стоградусной воды, продолжающегося 10–15 мин. В ходе излива, особенно в заключительный момент, вода бурно кипит, и над ее поверхностью все чаще появляется сбоку ванны грифон высотой до полуметра. Вода при этом выплескивается из воронки во все стороны. Возникающее затем извержение красиво мощью выбрасываемой по всему сечению воронки пароводяной смеси (фото 58, 59). Струи горячей воды достигают высоты 10–15 м, а пар поднимается на 100–200 м. Извержение обычно продолжается 4,5–6 мин, причем в первые 2–3 мин оно достигает максимума, затем становится пульсирующим и наконец сменяется отдельными выплесками воды на высоту 3–4 м и интенсивным выделением пара. Во время фонтанирования по склону гейзеритового щита стекает бурный поток горячей воды (фото 60). Количество выбрасываемой воды в момент извержения, судя



57. Большая воронка венчает на поверхности канал гейзера Большого



58. Гейзер Большой. Начало извержения

по измеренному нами объему опустошенной камеры, составляет  $17,7 \text{ м}^3$ , то есть примерно 60 л/с.

Перерыв в извержении начинается с ослабления выделения пара и опускания воды в воронке на уровень, при котором выплески уходящей воды не достают ее краев. Вода, постепенно опускаясь, скрывается в канале и вновь появляется после невидимого наблюдателю наполнения канала свежими ее порциями. Затем наблюдается подъем уровня воды в воронке и начало разлива нового цикла действия гейзера. Перерыв длится немногим более часа. Характерным для гейзера Большого является незакономерная смена короткого и длинного циклов действия. Продолжительность первого составляет 80–90 мин,

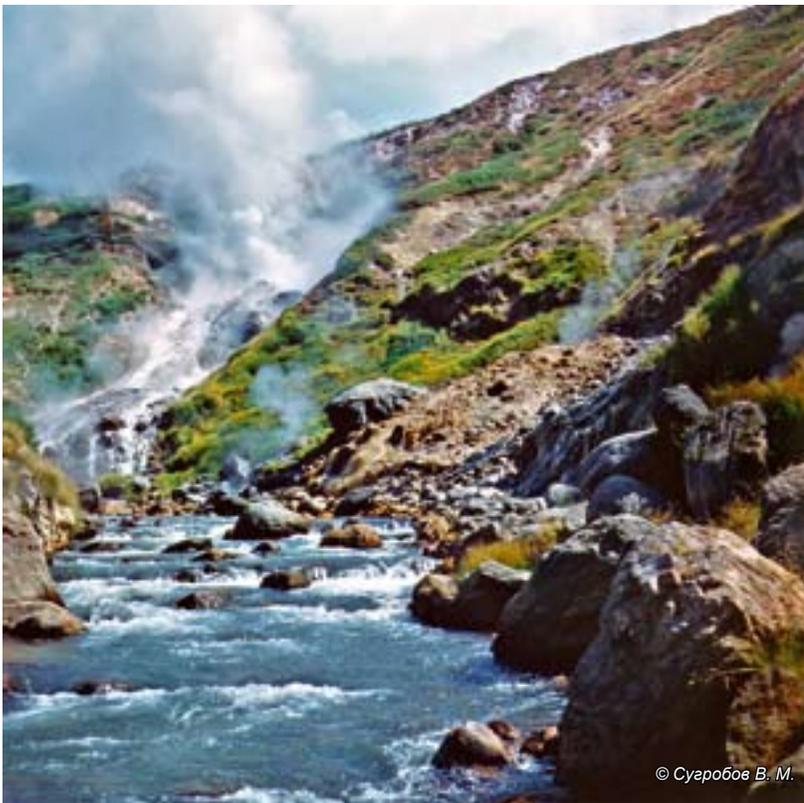
длинного – 125–140 мин. Наблюдения показывают, что время длинного цикла увеличено за счет удлинения перерыва в действии гейзера, периоды же разлива и извержения остаются практически неизменными.

Помимо вышеназванных гейзеров на участке близ русла реки встречается множество других мелких и крупных кипящих источников. Прежде всего, следует отметить *пульсирующие источники* у основания гейзеритовых щитов гейзеров Большого и Малого – это *Секретарь Большого* и *Секретарь Малого*. В плоских воронках, заполненных галечником, кипит вода, взметая брызги вокруг на расстояние до 3 м. Ниже по течению реки от гейзера Малого имеется несколько небольших источников и гейзеров, равноудаленных друг от друга. Все они находятся в 3–4 м от реки, среди груды обваловно-осыпных пород и галечника, на высоте 1–1,5 м над урезом воды. Расход их не превышает 1 л/с. К этой группе относятся три гейзера.

Самый дальний – *гейзер Красный*. Его воронка окружена измененными под воздействием гидротерм породами красного



59. Гейзер Большой. Струи горячей воды в момент извержения бьют на высоту 15 м



© Суеробов В. М.

60. Во время извержения гейзера Большого по ложбине, поверхность которой покрыта гейзеритовым плащом, стекают потоки горячей воды. На переднем плане гейзеритовая постройка гейзера Малого



61. Кипящий пульсирующий источник Гном

цвета. Красноватый оттенок имеет и гейзерит, покрывающий разбросанные обломки породы. Высота выхода канала гейзера над рекой не превышает 2 м. Действие гейзера Красного начинается с излива воды из

воронки, переходящего в фонтанирование, во время которого происходит всплеск кипящей воды по всей поверхности воронки на высоту 40–50 см. Продолжительность цикла изменяется от 17 с до 3 мин 40 с.

Выше по реке, в 20 м от Красного, расположен другой *гейзер* – *Пещерный*. Отверстие канала гейзера можно увидеть среди огромных (1 м в поперечнике) глыб коренных пород. В стадию извержения из-под камней выбрасываются в разные стороны водяные струи в течение 35–90 с. Перерыв длится около 2 мин, излив воды – 1 мин. В 1,5 м от Пещерного в воронке диаметром 20 см находится миниатюрный *гейзер* *Кругленький*. Его фонтанчик поднимается всего лишь на 50 см, но отличается крупными каплями разбрызгиваемой воды. Продолжительность цикла гейзера невелика и составляет 9 мин, в том числе: излив – 30 с, извержение – 80 с, перерыв – 7 мин.

На правом берегу Гейзерной выделяются 3 кипящих пульсирующих источника: Устьевой, Гном и Малая Печка. *Источник Устьевой* расположен на нижней границе участка в устье руч. Путеводного. Выход кипящей воды приурочен к щелевому отверстию в туфах и имеет расход 0,5 л/с. *Источник Гном* наблюдается за поворотом реки в 40 м ниже гейзера Малого (фото 61). Вода выходит из щели размером 10 x 30 см у основания крутого склона на высоте 0,4 м от реки и стекает двумя ручейками по почти вертикальной стенке. Обрамляющие выход воды и ручейки термофильные водоросли черного, темно-зеленого, желто-зеленого и розоватого цветов напоминают шапку и бороду гнома.

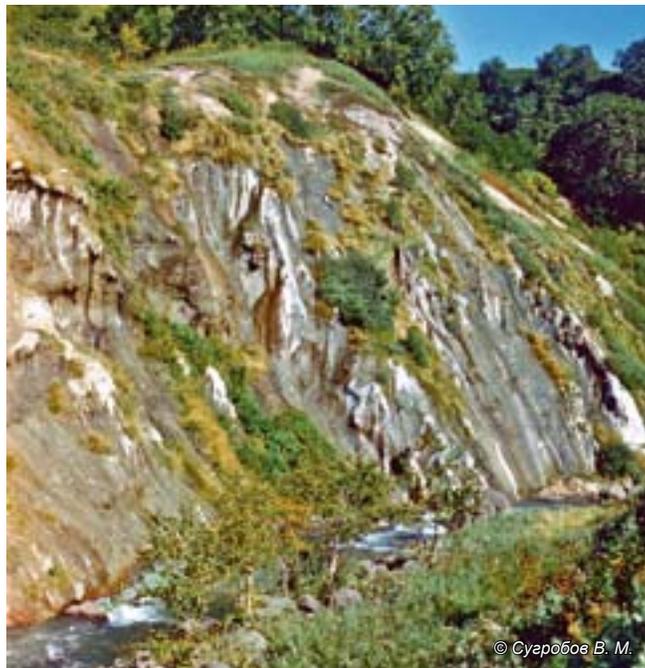
Напротив гейзера Большого, точнее источника Секретарь Большого, расположен *источник Малая Печка* (фото 62). Его воронка вместе с небольшим грифоном кипящей воды и пара напоминает дымящееся отверстие печи. Она отделена от русла реки скоплением камней и находится чуть выше уреза реки. Вода выходит сейчас непрерывно, но толчками, с небольшим расходом – около 1 л/с. В свое время источник был выделен Т. И. Устиновой как гейзер. Над ним по склону поднимается плоский конус из гейзерита, вершина которого венчает микроскопический кипящий источник.

Выше по реке за Малой Печкой можно видеть мельчайшие источники в отвесной части склона, расположенные на разных уровнях. От них по стенке тянется по пути стока горячей воды шлейф кремнистых натек и гейзерита. Из-за неровностей



62. Выброс кипящей воды и пара из печного отверстия источника Малая Печка

стенка, покрытая ими и украшенная разноцветными термофильными водорослями, приобретает одновременно причудливый и живописный вид. Со временем это скопление карликовых гейзеров и источников получило название *стенка Пийпа* в честь известного вулканолога Б. И. Пийпа. Она протянулась на расстояние 25 м вдоль реки, возвышаясь над ней на 8–10 м (фото 63). Среди карликовых гейзеров самый нижний, названный нами *Старик*, имеет постройку в виде конуса, слегка отодвинутого от склона. В активную стадию его горячий фонтанчик действует в течение 40 с при общей продолжительности цикла около 7 мин. По соседству с ним расположен *гейзер Борода*, от отверстия которого по стенке спускается цветной гейзеритовый шлейф, расширяющийся вниз. Характер работы такой же,



63. Шлейф кремнистых натеков и гейзерита на участке расположения миниатюрных кипящих источников и гейзеров – стенка Б. И. Пийпа

как у предыдущего гейзера, но отмечается более продолжительный цикл – 28 мин. Ниже по стенке от этих двух гейзеров нами выделен *пульсирующий источник Жульен*. Хотя источник небольшой, вода выбрасывается мелкими струйками с незначительным расходом, но интересен формой своей постройкой, напоминающей обезглавленную человеческую фигуру. Вода выходит из отверстия на вершине этого оригинального сооружения.

В 80 м выше по течению реки от стенки Пийпа на правом берегу наблюдается еще один *пульсирующий источник* с характерной постройкой в виде усеченного конуса, разделенного пополам желобком стекающей воды и названного нами *Персик*. Здесь проходит условная верхняя граница V участка.

## Участок Щелевой (VI)

Этот участок и последующий – VII представляют собой центральную, главную часть Долины гейзеров, где сосредоточено наибольшее число крупных и эффектных гейзеров и встречаются все виды поверхностной гидротермальной активности. Именно с ними знакомятся все посетители Долины гейзеров. От вертолетной площадки и домика лесника к гейзерам и другим термопроявлениям проложены пешеходные дорожки в виде дощатого настила. В наиболее интересных местах устроены смотровые площадки.

Если привычно привязываться к р. Гейзерной, то VI участок начинается приблизительно от места нахождения на правом берегу реки гейзера Поперечного, а выше по ее течению охватывает в основном термо-

проявления левобережья руч. Щелевого. Скромный по количеству крупных гейзеров, участок отличается разнообразием видов поверхностной гидротермальной активности. Только здесь можно наблюдать на сравнительно небольшой площади и типичный гейзер (Щель), и стенку карликовых гейзеров у руч. Поперечного, и своеобразные по строению устьевой части каналов гейзеры Ванна и Котлы, и грязевые и водные горячие и кипящие котлы, и скрытые в углублениях микрорельефа пульсирующие источники, и паровые струи. Например, на этом участке находятся гейзеры, выходные отверстия которых оформлены в виде ниш в стенках, названных Т. И. Устиновой печками. Один из них – *гейзер Гротик*, расположен на левом берегу руч. Щелевого

в 3 м от крутого спуска его к р. Гейзерной. Поверхностная термоаномалия с температурой грунта более 70 °С на глубине 1 м прослеживается не только в приустьевой части реки, но занимает и выположенный террасовидный склон левобережья р. Гейзерной и руч. Щелевого, и так же, как на V участке, почти достигает вертолетной площадки и домика лесника (фото 64).

Отсюда начинаются экскурсии по Долине гейзеров, и в данном случае описание термопроявлений участка лучше вести с этой точки. Дощатый настил, переходящий на крутых склонах в лестницу, ведет сначала к спуску с естественного холма, где расположен домик, и неподалеку разделяется на две дорожки. Правая выходит на пологую часть левого склона долины, а левая идет вниз к р. Гейзерной и смотровой площадке гейзера Большого. Перед спуском к смотровой площадке она поворачивает и идет вверх по течению реки

по краю выположенного ее склона и через 150 м спускается лестничными маршами к р. Гейзерной. Здесь, на середине склона, оборудована смотровая площадка, откуда можно видеть справа гейзер Щель и на противоположном берегу – группу термопроявлений с небольшим гейзером Пятиминутка.

*Гейзер Щель* расположен в ложбине выше уступа левого берега реки на высоте 6 м. Название и первое описание дано Т. И. Устиновой. Три отверстия канала гейзера видны в трещине щелеобразного вида, пересекающей небольшое вздутие в ложбине (фото 65). Красивый крупно- и мелкозернистый гейзерит покрывает его поверхность и края щели. Извержение гейзера происходит в виде одновременного выброса пароводяной смеси из трех отверстий по направлению к склону под углом 50°. Кипящая вода фонтанирует на высоту до 2 м. Извержение продолжается 1 мин. Пе-



© Суаробов В. М.

64. Разнообразные термопроявления террасовидного склона левобережья Гейзерной на центральном участке



© Сугробов В. М.

65. Канал гейзера Щель в стадию парения

риодичность мало изменяется и в среднем составляет 35–37 мин.

Напротив Щели, почти на бровке крутого склона правого берега, в округлой воронке находится выходное отверстие *гейзера Пятиминутка*, извергающегося небольшими пароводяными струями высотой в несколько сантиметров. Продолжительность фонтанирования – 50 с, всего цикла – 4 мин 30 с. Неподалеку, выше по склону, расположен *пульсирующий источник Крепость* с характерной постройкой из обломков пород, сцементированных кремнистыми отложениями (фото 66). Ниже по течению реки, приблизительно в 80 м от них наблюдается *группа карликовых гейзеров* в прирусловой части склона, так называемой стенке VI участка. Среди них заметно выделяются три миниатюрных гейзера. Первый находится вблизи русла. Вода выходит из щелевого отверстия на вершине конуса, слегка отклоненного от поверхности стенки и имеющего высоту 1 м. Извержение, заключающееся в выплесках

кипящей воды на высоту до нескольких сантиметров, продолжается 65 с, время полного цикла – 18 мин. Чуть выше него находится второй гейзер, постройка которого представляет собой прислоненный конус полуметровой высоты. Извержение происходит в течение 55 с с образованием фонтанчика в 30 см высотой. Периодичность гейзера составляет 19 мин. Здесь же, в стенке, на расстоянии 30 м от этих двух гейзеров расположен еще один карликовый гейзер (*Поперечный*) с продолжительностью цикла 2 мин 45 с и временем извержения 40 с.

Чтобы посетить другие места активной гидротермальной деятельности VI участка, надо подняться вверх по лестнице мимо гейзера Щель и пойти налево по дощатому настилу. Буквально через несколько метров начинается царство замечательных своеобразных термопроявлений, грязевых и водных горячих и кипящих котлов. Один из них – Большой грязевый котел, расположенный справа от дорожки на ровной площадке среди высокотравья. Невдалеке, вплотную приблизившись к активным термопроявлениям, красуется отдельно стоящая береза Эрмана – *береза Долины гейзеров*. Среди травянистого покрова бросаются в глаза два больших, темных, пугающих своей таинственностью отверстия глубоких ям, на дне которых находится *пульсирующий источник Врата Ада*. Отделяющийся от кипящей воды пар образует легкое белое облачко, более заметное над ямой большего размера.

*Большой грязевый котел* – самый крупный грязевый котел в Долине гейзеров. Размеры его овала более 17 м по длинной и 12 м по короткой оси при глубине 2 м. Днище и борта сложены красной глиной, отчего его часто называют красным котлом. В зависимости от количества поступающих в него поверхностных вод изменяется состояние котла. Он может быть до дна сухим с небольшим скоплением жидкой грязи, периодически подбрасываемой пробулькивающим паром. В сухие периоды года глинистые его борта покрыты глубокими трещинами усыхания, разделяющими поверхность на блоки. Во время снеготаяния и интенсивных дождей



© Сугробов В. М.

66. Миниатюрный кипящий пульсирующий источник Крепость

уровень воды в котле поднимается до краев, и он становится маленьким термальным озерком, на спокойной поверхности которого эпизодически появляются пузырьки пара и газа.

Здесь же находятся котлы и воронки меньшего диаметра с различным характером проявления гидротермальной активности – от бурного кипения жидкой глинистой массы до спокойного стояния воды (фото 67).



67. Большой грязевый котел (Красный)

Это связано с тем, что для каждого термопроявления свойственно индивидуальное соотношение между поступлением из глубины пара, горячей воды и величиной стока поверхностной воды. В том случае, если

поступление воды преобладает, грязевые котлы превращаются в водные (например, котел Голубой) или теплые озерки (фото 68). Вода в них имеет различную температуру и химический состав. В зависимости от цвета глин, слагающих дно и борта, котлы имеют красный, зеленый, голубой и другие цвета и оттенки. Самое большое теплое озерко такого типа, получившее название *Утиное*, расположено справа от дорожки,



68. Большой горячий водный котел Голубой

которая по другому краю термальной поляны ведет к домику лесника. С юго-западной стороны по берегу озерка наблюдаются и горячие, совсем миниатюрные, грязевые котлы.

## Участок Центральный (VII)

Здесь сосредоточено наибольшее количество известных крупных гейзеров (фото 69). Он непосредственно примыкает к VI участку и в основном занимает нижнюю часть склонов долины р. Гейзерной, где также отмечается поверхностная термоаномалия с температурой более 70 °С на метровой глубине. Условной границей участка (рис. 5, 6) является устье руч. Щелевого, мостик через р. Гейзерную и расположенный за ним вблизи уреза воды на левом берегу кипящий пульсирующий источник *Малахитовый Грот* (фото 70). Вода источника разбрызгивающейся струей бьет на высоту до 1,5 м. Источник постоянно окружен облаками пара (фото 70), режим извержения источника – неровный, пульсирующий. Расход ручья от Малахитового Грота составляет около 2 л/с. Далее, вверх по реке, у подножия обрывистого склона, у самого уреза реки находится кипящий пульсирующий источник *Многоструйный*. Кипящая вода выходит из вертикального отверстия в обрыве берега у самого уреза воды. Фонтан пароводяной смеси бьет наклонно под углом 30–45° в сторону, противоположную течению реки. Струи воды и пара выбрасываются в пульсирующем режиме, толчками, на расстояние до 2 м (фото 71).

Выше по течению весь нижний левый склон покрыт гейзеритовыми образованиями, термофильными водорослями, пульсирующими источниками, карликовыми

гейзерами. С расположенными здесь термопроявлениями лучше познакомиться, пройдя по мостику на правый берег Гейзерной и поднявшись по известной уже дорожке на смотровую площадку на низкой террасе в излучине реки. Отсюда открывается редкостная по красоте даже для Долины гейзеров картина действия разнообразных по характеру и мощности пульсирующих источников и гейзеров. В последнее время этот удивительный и популярный участок склона получил наименование – *Витраж* (фото 72). Справа видны беспрерывно фонтанирующие только что упомянутые источники Малахитовый Грот и Многоструйный. Выше их левый берег начинается невысоким обрывом низкой террасы шириной до 30 м, заболоченной и заросшей ярко-зеленой травой. За террасой вздымается крутой обрыв-стенка, на поверхности которого выделяются столбчатые гейзеритовые натеки, идущие от многочисленных отверстий, откуда вытекает или выбрасывается кипящая вода. Стекая по ложбинкам в стенке, она образует небольшие горячие ручейки, кажущиеся разноцветными из-за пестро окрашенных их окаймляющих термофильных водорослей. На фоне этого пестроцветия постоянно то в одном, то в другом месте клубится белый пар, изменяя, как в калейдоскопе, общую картину. Все в движении. Внезапно появляются почти вертикальные фонтаны горячей воды и



© Суаробов В. М.

69. Общий вид участка Центрального. В центре – Площадка фонтанов, извергается гейзер Фонтан, парят Многоструйный и Малахитовый Грот



70. Необычная форма и краски постройки пульсирующего источника Малахитовый Грот постоянно привлекают внимание посетителей Долины гейзеров

пара – это начали извергаться *гейзеры Фонтан и Новый Фонтан*. Они расположены на выровненной площадке размером 10 x 20 м, которая на высоте 25 м от

уреза реки ступенькой врезается в сужающийся кверху обрывистый склон. Это примечательное место называется *Площадкой фонтанов*.



71. Вблизи Малахитового Грота действует, разбрызгивая во все стороны пароводяную смесь, пульсирующий источник Многоструйный

Почти все гейзеры и источники склона не остались незамеченными Т. И. Устиновой и впервые выделены ею – Грот, Фонтан, Новый Фонтан, Непостоянный, Двойной, Малахитовый Грот. Со стороны смотровой площадки первыми справа мы увидим пульсирующие источники Малахитовый Грот и Многоструйный. Над

ними выше и правее Площадки фонтанов в стенке обрывистого склона наблюдается группа небольших гейзеров и источников, среди которых выделяется один, названный нами *Бастион* (фото 73). Его гейзеритовая постройка представляет собой выступ коренных пород в виде стенки высотой 3 м с зубчатым верхним краем. Кипящая вода толчками выбрасывается из щели на вершине прислоненного к стенке конуса и в гейзерном режиме – из отверстия в нижней его части.

Левее, выше Бастиона, постоянно клубится пар. Он выходит из неглубокой пещеры, вход в которую обращен на Площадку фонтанов. Она служит вместилищем *гейзера Грот* и мелких пульсирующих источников. В глубине ниши плещется кипящая вода. Она собирается перед нишей в плоском бассейне, отделенном от склона невысокими бортиками. Периодически поступление воды в бассейн увеличивается, видимо, в соответствии с ритмом работы гейзера, и так же изменяется расход воды ручья, стекающе-

го по склону. По изменению его расхода можно судить о состоянии гейзера Грот, деятельность которого скрыта от наблюдений стенками ниши. Режим гейзера был установлен с помощью автоматической записи уровня воды в ручье, то есть появления, изменения и прекра-



72. Площадка фонтанов, справа парит гейзер Грот

щения стока воды. Периодичность гейзера колебалась от 31 до 48 мин (фото 74, 75).

В 1987 г. и летом 1990 и 1991 гг. были отмечены мощные горизонтальные выбросы пароводяной смеси из грота на фоне обычной скрытой гейзерной деятельности. Фонтанирование происходило серией выбросов смеси. Перед началом фонтанирования наблюдался обычный гейзерный режим истечения воды из бассейна. Затем следовали внезапное увеличение расхода ручья и выброс горизонтальной струи воды и пара, с силой бьющей в противоположный от Грота склон, в сторону гейзеров Фонтан и Новый Фонтан. Извержение сопровождалось сильным ревом, выделением плотных клубов пара, поднимающихся на сотни метров. Сразу же после извержения горячая вода широким потоком почти по всей гейзеритовой стенке стекала вниз к реке. Фонтанирование гейзера отмечалось 7–9 раз по 2–3 мин и с перерывами той же продолжительности, причем с каждым последующим извержением его мощность ослабевала. Ориентировочный расход воды гейзера, рассчитанный по подъему уровня реки, был равен 160 л/с. Приблизительный объем камеры после полного ее опустошения составил 30 м<sup>3</sup>. По этим параметрам гейзер Грот занимает первое место в Долине гейзеров.

На той же площадке, приблизительно в 18 м от Грота, находится *гейзер Новый Фонтан*. Вода и пар выбиваются из трех небольших, рядом расположенных отверстий в виде вертикальных струй высотой 1–3 м. Деятельность гейзера характеризуется непостоянством режима и значительно большей продолжительностью фонтанирования по сравнению с периодом покоя. Например, в одном из циклов гейзера извержение продолжалось в течение 39 мин, а перерыв длился всего 9 мин.

В 2 м от Нового Фонтана расположен *гейзер Фонтан* (фото 76) – один из самых красивых и ритмически действующих гейзеров. Во время извержения столб кипящей воды поднимается вертикально на высоту более 10 м из отверстия канала диаметром 60 см. Продолжительность цикла достаточно постоянна и изменяется в пределах 13–24 мин. Извержение длится 3–4 мин, продолжительность отдельных стадий изменяется в зависимости от попадания в воронку охлажденных извергнутой воды, в большей степени соседнего гейзера Новый Фонтан.

Несколько ниже гейзера Фонтана действует *гейзер Непостоянный* (фото 77). В момент извержения кипящая вода выплескивается на высоту до 3 м из отверстий в гейзеритовой постройке неопределенной формы. Название гейзера соответствует характеру его режима. Продолжительность цикла изменяется от нескольких минут до часа и более. Еще ниже и левее Непостоянного в склоне выделяется



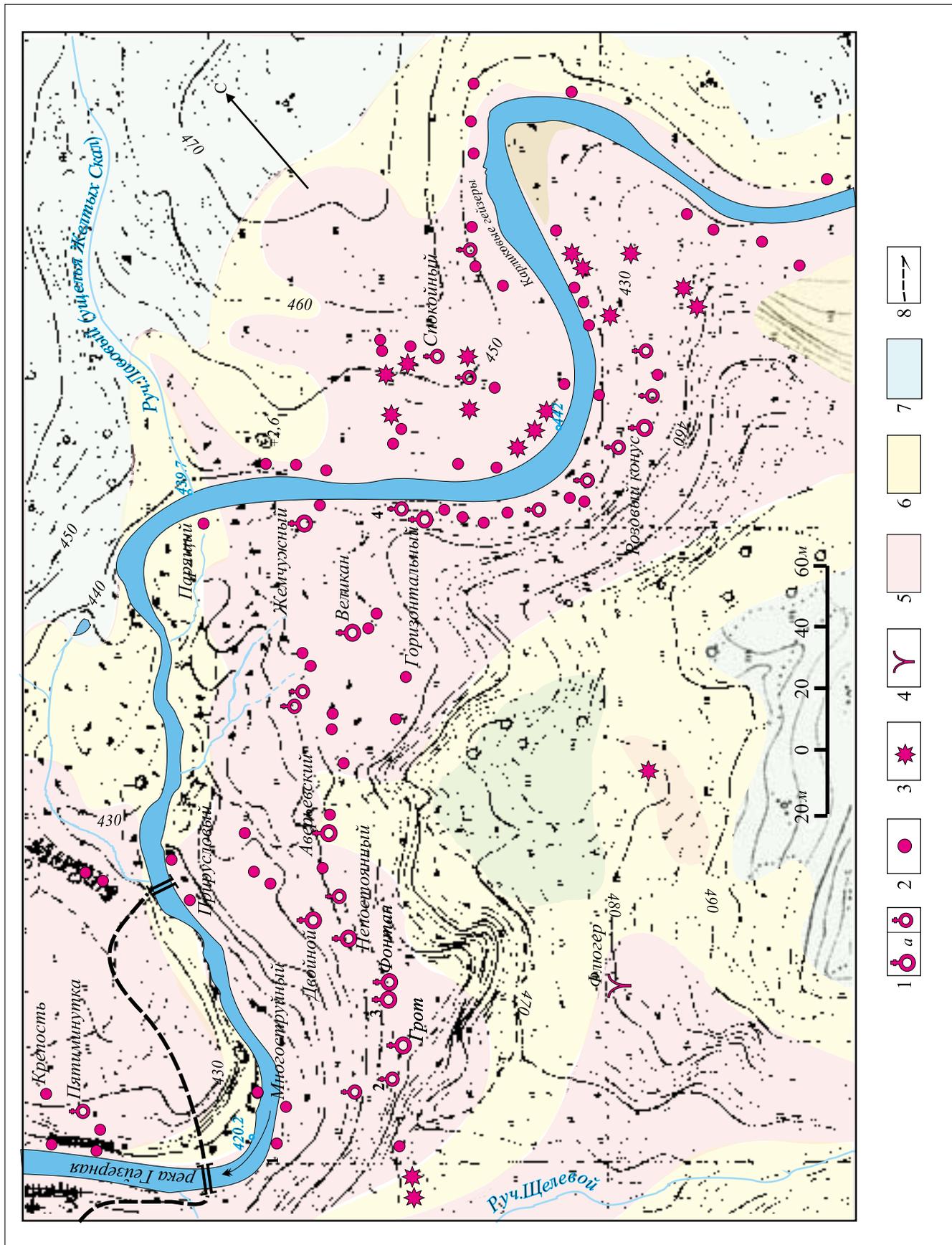
73. Небольшой гейзер *Бастيون*



74. Из неглубокой пещеры, обращенной к Площадке фонтанов, вырывается мощная пароводяная струя. Это редко наблюдаемое извержение *гейзера Грот*



75. *Гейзер Грот* в покое. Перед входом в пещеру гейзера обширная ванна, через которую идет слив кипящей воды





76. Извержение гейзера Фонтана



77. Среди разноцветья гейзеритового щита Площадки фонтанов можно увидеть и скромное извержение гейзера Непостоянного (в центре)

рельефный выступ оригинальной, вытянутой вдоль склона формы, напоминающий больших размеров седло. Кстати, у туристов это слово стало собственным, популярным названием *гейзера Двойного*, данным ему Т. И. Устиновой. Поверхность выступа покрыта темно-серым гейзеритом. Выступ имеет два щелевых отверстия, одно из которых находится на его вершине. Вода, вскипая, выплескивается попеременно из этих отверстий (фото 78, 79). Режим гейзера Двойного также характеризуется нестабильностью. Извержение длится несколько секунд. Высота наиболее сильных струй достигает 0,5–1 м. Периодичность извержения изменяется от 4 до 23 мин.

И, наконец, в 25 м левее *гейзера Двойного*, приблизительно на уровне Площадки фонтанов расположен *гейзер Аверьевский* (фото 80). Выходное отверстие в виде воронки диаметром 0,5 м приурочено к большой рытвине в склоне. Гейзер назван нами в честь известного вулканолога и гидрогеолога Валерия Викторовича Аверьева. Многолетний период наблюдений показал на значительные изменения в характере деятельности гейзера. Вначале он работал в режиме постоянно действующего небольшого кипящего источника. Затем функционировал в гейзерном режиме со средней периодичностью 13–14 мин при изменении в пределах 12–31 мин, причем в момент извержения возникал мощный вертикальный фонтан пароводяной смеси высотой 10–15 м. В последнее время гейзерный режим сменился режимом пульсирующего кипящего источника. Его дебит настолько большой (до 10 л/с), что сток воды источника образует отдельный горячий ручей, извилистой лентой спускающийся по склону и впадающий слева в р. Гейзерную.

Пульсирующий источник (гейзер) Аверьевский как бы замыкает группу термопроявлений Витража. Кроме охарактеризованных крупных гейзеров и источников, на гейзеритовом склоне наблюдается много мелких пульсирующих источников и миниатюрных гейзеров наподобие описанных выше стенок карликовых гейзеров. Ниже, на поверхности террасы, встречаются также источники, вода которых выходит из небольших воронок и кипящих котлов и скрыто стекает в Гейзерную под покровом заболоченной почвы.

В излучине реки, выше по течению, в 80 м от гейзера Аверьевского расположен главный гейзер Долины – *Великан*. Его величественное извержение лучше наблюдать со смотровой площадки, расположенной над спуском ко второму мостику через р. Гейзерную, выше предыдущего пункта наблюдения. Отсюда можно видеть в другом ракурсе и гейзеры Площадки фонтанов. Великан выделяется среди других гейзеров самым мощным и красивым извержением (фото 81). Сейчас только Грот после этапа новой активизации своей

Рис. 6. Расположение гейзеров, термальных источников и других термопроявлений на участке Центральном (VII):

- 1 – гейзер;
- 2 – кипящий или горячий источник;
- 3 – грязевый котел;
- 4 – отдельная паровая струя; участки грунта с температурой на глубине 1 м:
- 5 – 70–100 °С,
- 6 – 20–70 °С,
- 7 – менее 20 °С;
- 8 – дорожка с дощатым настилом



78. Гейзер Двойной



79. Верхняя часть постройки гейзера Двойного с щелевым отверстием, получившая название Седло

деятельности может соперничать с ним. Находится Великан на плоской площадке размером 35 x 40 м, небольшими уступами спускающейся к реке. На площадке множество кипящих пульсирующих источников и два небольших гейзера с коротким циклом работы. Выход канала Великана представляет собой ванну размером 1,5 x 3 м и глубиной 3 м (фото 82).

Извержение начинается стремительным и шумным выбросом по всему сечению ванны столба пароводяной смеси (фото 83). Высота фонтана около 20 м, клубы пара поднимаются на 300 м и выше. Извержение длится около 2 мин. Вся масса воды низвергается на площадку и, собираясь, бурным ручьем устремляется по склону в реку (фото 84). Некоторая часть ее сразу же попадает в опустошенную воронку. Фонтанирова-



80. Гейзер Аверьевский

ние сменяется интенсивным пароотделением, продолжающимся около 30 мин. Следующий за извержением период наполнения продолжается 2,5–3 ч. Стадия кипения, предшествующая извержению, имеет различную длительность, зависящую главным образом от метеорологических условий, и может достигать 2 и более часов. Кипение происходит с попеременным ритмом нарастания интенсивности и спада. В максимальную стадию кипения выплески кипящей воды достигают высоты 1–1,5 м и часто принимаются наблюдателями за начало извержения. Затем происходит спад активного кипения, на поверхности ванны отмечается рябь и слегка понижается уровень воды. Таких повторов появления кипящих грифонов с промежутками в 30 мин до извержения может быть несколько (обычно 5–8), пока последний из них не перерастет в мощное фонтанирование.

Средний цикл Великана в последние годы составляет 5–6 ч и, следовательно, претерпел некоторые изменения в направлении увеличения периодичности, так как в 1940-х гг. средняя продолжительность его работы была 3 ч. Объем камеры гейзера, измеренный сразу после извержения, оказался равным 20 м<sup>3</sup>. Соответственно расход во время извержения составляет около 160 л/с. С учетом всего количества вылитой воды за сутки (во время извержения и разлива) расход Великана невелик и равен лишь 2 л/с.

С последней смотровой площадки выше по течению реки заметно выделяется по плотным белым клубам пара во время активной деятельности *гейзер Парящий*, расположенный за поворотом р. Гейзерной напротив устья руч. Лавового, приблизительно в 120 м



*81. Мощная пароводяная струя гейзера Великана*



*82. Ванна Великана заполнена новыми порциями горячей воды, начинается кипение и излив*

от мостика и 55 м от Великана. Выходное отверстие его канала представляет собой неоформленную воронку среди груды камней над маленьким обрывчиком, поднимающимся от русла реки. За период наблюдений (а



*83. Гейзер Великан. Начало извержения*

систематически они проводились с 1970 г.) некогда активный пульсирующий источник с дебитом 1,5–1,9 л/с начал с 1972 г. изливаться с перерывами, а с 1974 г. стал работать в гейзерном режиме с периодичностью в 30 и более часов. Период фонтанирования также



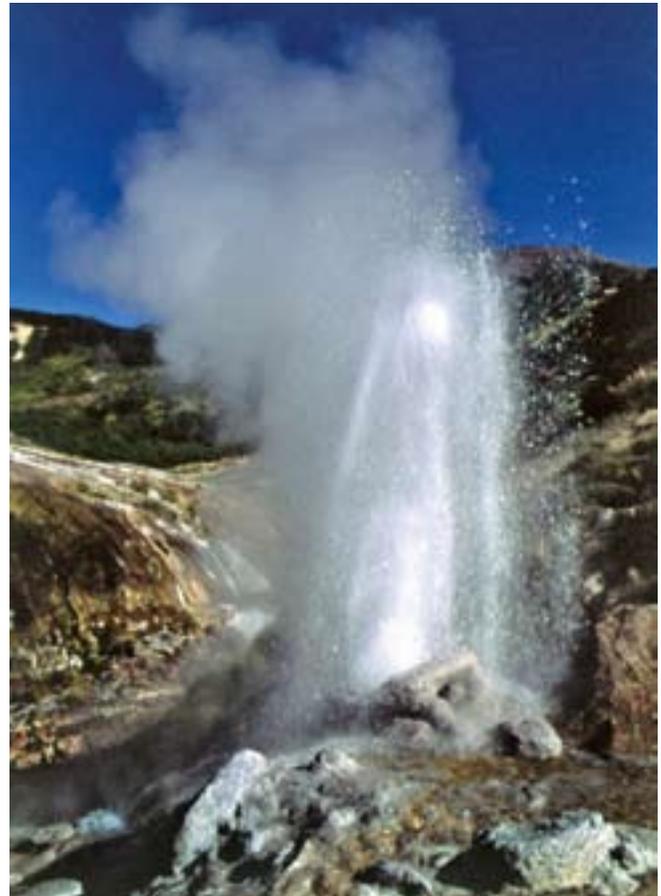
84. Извержение Великана заканчивается, и бурный поток горячей воды устремляется к реке



85. Общий вид площадки гейзера Жемчужного в момент его извержения

измеряется часами, а само извержение практически не отличается от интенсивного кипения с разбрызгиванием на один метр в разные стороны струй воды, которое отмечалось в период его деятельности как источника. Обильное парение, сопровождающее активность источника и теперь гейзера, подсказало нам его название.

В 35 м выше по реке от Парящего, на левом берегу, примерно в 6 м выше уровня воды в реке расположен гейзер Жемчужный. Выход канала гейзера скрывается обломками пород, сцементированными и покрытыми гейзеритом. Его красивый узор создан небольшими шариками из натечного кремнезема, напоминающими серый жемчуг. Отсюда и название гейзера, данное ему Т. И. Устиновой. Извержение Жемчужного начинается внезапно, когда кипящая вода красивым, поначалу бесшумным фонтаном взмывает на высоту около 10 м, рассыпая по склону каскад крупных брызг (фото 85, 86). Извержение длится 4 мин, после чего в течение 7–8 мин клубится пар. Полный цикл в среднем за весь



86. Фонтан гейзера Жемчужного вздымается на высоту более 10 м

период наблюдений составляет 4 ч с малыми отклонениями в ту или иную стороны.

Выше Жемчужного на этом же левом берегу прямо над урезом воды поднимается гейзеритовый конус на высоту чуть более метра (фото 87). Это гейзер Нижний Щелевой. Конус как бы прислонен к обрывистому склону и кажется плоским. Отсюда его второе название – Плоский Конус. Кипящая вода при извержении выбрасывается толчками из небольшого щелевого отверстия на вершине конуса. Высота фонтанчика достигает 30 см. Извержение длится около 3 мин. Продолжительность цикла, в котором отсутствует стадия излива, составляет приблизительно 27 мин.

Еще один известный гейзер этого участка – гейзер Горизонтальный расположен на левом берегу выше Жемчужного, в 35 м от него. Вокруг него группируются небольшие гейзеры, пульсирующие источники, занимающие нижнюю часть обрывистого склона долины реки. В свое время это место было названо Т. И. Устиновой «склоном карликовых гейзеров». Крупных источников и гейзеров здесь нет, кроме гейзера Горизонтального. Он имеет прислоненную к склону гейзеритовую постройку неправильной формы, частично покрытую корочками серого с розовым оттенком гейзерита. Верхняя часть постройки с общей высотой 1,5 м полуразрушена и в ней наблюдается выходное отверстие гейзера в виде воронки размером 0,5 x 0,4 м (фото 88). Горизонтальный – один из наиболее стабильных по режиму работы гейзеров. За весь наблюдаемый период (с 1951 г.) стадии его деятельности практически не из-



87. Гейзер Нижний Шелевой (Плоский Конус) и его примечательная гейзеритовая постройка

менились. Полный цикл действия гейзера находится в пределах 90–100 мин с продолжительностью извержения 2 мин. Наполнение воронки происходит за 70 мин. Излив воды и кипение продолжаются 30 мин. Гейзер во время извержения выбрасывает мощную струю пароводяной смеси (фото 89), летящую под углом 45° к реке на расстояние 10 м.

На склоне карликовых гейзеров среди пульсирующих источников и высачиваний горячих вод находятся еще три карликовых гейзера. Самый верхний по течению реки характеризуется периодичностью в 6 мин и расходом воды 1,5 л/с. Остальные два имеют неопределенный цикл работы. В 20 м выше Горизонтального расположен кипящий пульсирующий источник, выделяющийся строением выходного отверстия, печки, размером 10 x 20 см. Оно находится в обрывчике берега на высоте 1,5 м от реки, из которого через доли секунды ритмичными толчками выплескивается почти горизонтально в сторону водного потока кипящая вода. *Источник* удостоился собственного названия – *Мойдодыр*.

За поворотом реки, выше «склона карликовых гейзеров», заметно выделяется в крутом склоне левого берега Гейзерной высокий гейзеритовый конус, в верхней точке которого периодически появляется фонтан пароводяной смеси. Это действует гейзер *Розовый Конус*. Он находится в 80 м от гейзера Горизонтального. Гейзеритовый конус достигает 8-метровой высоты при ширине основания 2 м. Отверстие канала расположено вблизи вершины, представляя собой щелевидное углубление размером 8 x 30 см. Серый гейзерит имеет розовый оттенок и разного размера «горошины». Извержение происходит в виде внезапно возникающего метрового фонтана кипящей воды. Цикл гейзера стабилен в течение всех наблюдаемых лет. Он равен 14–15 мин, стадия извержения – 35 с. В нижней части гейзеритового конуса можно видеть два отверстия. Они представляют собой верхние части каналов двух

гейзеров. Верхний из них имеет цикл в 36 мин с фонтанированием менее 1 мин, при котором пароводяная струя бьет под углом к склону на высоту до 1 м. Извержение нижнего гейзера длится около 16 мин.

В нескольких метрах от основания гейзеритовой постройки Розового Конуса выше по реке отмечаются два небольших гейзера: *Нора* и *Травяной* с продолжительностью цикла 9 и 1 мин. Не имея гейзеритовой постройки, они не выражены в рельефе. Выходные отверстия их каналов теряются среди сочной зеленой травы в склоне. Гейзер Нора, расположенный в 10 м выше по течению реки от Розового Конуса и в 5 м ниже его по склону, выделяется в стадию покоя по пятну светлой окремнелой породы и воронки в центре его диаметром 15 см.

На правом берегу реки, напротив охарактеризованных выше термопроявлений активная гидротермальная деятельность проявляется в виде небольших пульсирующих источников, кипящих водных котлов и гейзеров числом более двух десятков. Поверхность большой термальной площадки (60 x 50 м) здесь постепенно поднимается от реки на высоту 10–15 м, почти полностью лишена растительного покрова и напоминает сброшенный панцирь фантастического существа. По ее поверхности стекают теплые и горячие ручейки, собирающие воду от многочисленных миниатюрных пульсирующих кипящих источников, кипящих котлов и гейзеров. Разноцветные из-за обрамляющих их термофильных водорослей ручейки, как нити причудливого узора, тянутся от верхней части площадки к реке. У самой реки края панциря имеют вид конусообразных наплывов, напоминающих конусы выноса сухих речек и временных водотоков (фото 89).

Один из упомянутых горячих ручейков начинается с выхода кипящей воды в виде пульсирующего источника в небольшой воронке, заполненной камнями. На пути стока воды этого источника находятся еще два. Верхний источник расположен в воронкообразном понижении. Кипящая вода выплескивается в ручеек,



88. Извержение гейзера Горизонтального



89. Панцирь из гейзеритовых и кремнистых натеков на правом берегу Гейзерной. На переднем плане парит гейзер Горизонтальный

который протекает через нижний источник, расположенный в 7 м от верхнего. В отличие от него нижний источник представляет собой водный котел диаметром около 1 м и глубиной 1,5 м с еле заметным стоком воды. Активность источника видна по пузырькам пара, образующимся на водной поверхности. Общий расход трех источников – 1–1,5 л/с. Из трех гейзеров, наблюдаемых здесь, *гейзер Спокойный* расположен рядом с верхним пульсирующим источником. Выходное отверстие его находится на дне небольшой воронки, стенки которой сложены красной глиной. Поэтому тонкие «щеточки» гейзерита также окрашены в красный цвет. Продолжительность цикла гейзера около 2 мин, извержение длится 30 с.

Выше по течению, за крутым поворотом реки на правом берегу – еще одна крутая стенка высотой 12 м с серией мелких пульсирующих источников и карликовых гейзеров. Выходы источников и гейзеров рас-

полагаются на высоте 4–8 м от уреза воды. Среди травы и глинистой почвы их хорошо видно на склоне по следам стекающей воды – разноцветным, преимущественно зеленоватым и желто-коричневым полосам кремнистых и гейзеритовых натеков, обрамленных термофильными водорослями. Примечателен, например, самый верхний по течению выход кипящей воды в виде двух пульсирующих источников, отстоящих друг от друга на расстоянии 4 м. Кипящая вода выбрасывается струйками на высоту 10–20 см.

В 5 м ниже их находятся два миниатюрных гейзера. Один из них – *Коричневый* (назван по коричневому цвету гейзеритовой постройки) – работает в типичном для всех гейзеров режиме (излив воды, фонтанирование, парение, покой). Второй, расположенный в 1,5 м от первого, – *Змейка*, замечен по появлению и исчезновению ручейка, текущего по извилистому руслу в кремнистых натекках и свидетельствующего об активности гейзера. Периодичность гейзера составляет всего 4–6 мин, а извержение длится 10–20 с. В нижней по течению реки части описываемой стенки можно встретить еще два гейзера на высоте 4–5 м от реки. Ручейки от них стекают на пойменную террасу, которая здесь достигает ширины 5–6 м. Самый нижний из них с циклом 25–30 мин извергается в течение 15 с в виде струек кипящей воды, выбрасываемых в сторону реки. Второй подобен гейзеру *Змейка*, в момент активизации образует небольшой ручеек горячей воды, исчезающий после извержения, которое продолжается лишь 30 с.

Выше описанных термопроявлений по обоим берегам р. Гейзерной до начала VIII участка на протяжении 600 м отмечаются отдельные небольшие кипящие и горячие источники. Они расположены близ уреза воды и характеризуются спокойным ее изливом. Здесь целостность поверхностной термоаномалии (с температурой грунта на глубине 1 м более 70 °С), прослеживаемой по р. Гейзерной, обрывается. Отдельные пятна измененных пород, парящего грунта с паровыми струями в верхних частях склона, с мелкими источниками у русла встречаются выше по течению, в основном на левобережье.

## Участок Верхний (VIII)

Он открывается группой (более десяти) кипящих и горячих пульсирующих источников в прирусловой части р. Гейзерной на левом и правом ее берегах. Они расположены приблизительно в 100 м ниже впадения справа в р. Гейзерную руч. Малютка, за крутым поворотом реки. Наибольшие и хорошо выраженные кипящие источники находятся на левом берегу на площадке размером 25 x 10 м. Самый верхний по течению пульсирующий источник наблюдается в 1,5 м от реки в небольшой рытвине и представляет собой сосредоточенную пароводяную струю, бьющую почти верти-

кально на высоту 1–2 м. Нижний источник, носящий название *Большой*, разделен на 4 струи, приурочен к трещине в коренных породах и расположен ниже верхнего источника по высоте. Суммарный дебит источников левого берега по визуальному определению составляет 3 л/с. Эта группа термопроявлений заметна издали, особенно в зимнее время, по поднимающимся вверх клубам пара (фото 90).

Следующая выше по течению реки группа источников и гейзеров находится на правом берегу. Среди них гейзеры *Бурлящий*, *Восьмерка*, *Иванушка*, *Верхний*,



90. Группа кипящих источников и гейзеров VIII участка на левом берегу Гейзерной. Среди них источник Большой

источник Плачущий. Хотя эти гейзеры уступают по масштабу деятельности, красоте и величию гейзеров центральной части Долины, они так же оригинальны, интересны и красивы. *Гейзер Бурлящий* встречается первым на этом отрезке реки. Он расположен в 120 м выше впадения руч. Малютка на правом склоне в нишеобразном углублении размером 5 x 10 м. Первоначально описан В. Н. Виноградовым в 1961 г. с продолжительностью цикла около часа и стадией извержения 10–11 мин. В последнее время гейзер часто работал в пульсирующем режиме с попеременным усилением и ослаблением активности.

*Гейзер Восьмерка*, впервые охарактеризованный Т. И. Устиновой, находится на том же берегу, в 350 м выше по течению реки от Бурлящего. Постройка гейзера в виде усеченного конуса высотой 2 м возвышается над рекой почти на 8 м. На вершине конуса выходное отверстие образует форму восьмерки. Извержение гейзера происходит струями до высоты 3 м. Оно продолжается около 1 мин. Полный цикл работы за многолетний период изменялся от 27 мин до одного часа и более. Гейзер имеет стадии фонтанирования, парения, покоя, излива, кипения (фото 91). В 100 м вверх по реке, также на правом берегу, расположен кипящий источник *Плачущий*. Вода вытекает неровными струйками из трещины на высоте 5 м над урезом воды, вначале падая с небольшого уступа и затем ручейком стекая по склону. Временами струйки кипящей воды превращаются в наклонные фонтанчики пароводяной смеси. Расход источника невелик и колеблется от 0,1 до 1 л/с.

Далее, в 40 м выше источника Плачущего, находится небольшой гейзер *Иванушка*. Выходное отверстие расположено в 30 м над уровнем реки. Продолжительность цикла его непостоянна. Излив воды и извержение пароводяной смеси продолжается 2 мин, затем перерыв в работе на 20–25 с, в течение которого происходит заполнение камеры канала.

На правом крутом склоне р. Гейзерной, в 10 м выше верхнего порога Тройного водопада, на высоте 5 м от уреза воды расположен гейзер *Верхний*. Пароводяная смесь выбивается из отверстия под углом 50°, находящегося на продолжении почти вертикальной трещины, хорошо прослеживаемой в туфах в русле реки. По первому описанию В. Н. Виноградова полный период деятельности летом 1961 г. составлял 16 мин, а пульсирующее извержение – 8 мин. По нашим эпизодическим наблюдениям (в 1984–1994 гг.) кипящая вода изливалась практически постоянно с небольшими пульсациями с расходом 2–3 л/с. Излив воды сопровождается интенсивным выделением пара без



91. Почти на кромке Трехкаскадного водопада разместился гейзер Верхний

заметного фонтанирования пароводяной смеси (фото 90). Ниже его по склону в приустьевой части реки можно наблюдать периодическое выплескивание пароводяной смеси из трещины, своего рода мини-гейзер, который часто заливается рекой при подъеме водного уровня. В 10 м выше по течению реки отмечены еще три смещенные к правому берегу выхода пароводяной смеси в трещине, также проходящей перпендикулярно руслу реки. Два крайних из них представляют собой выходное отверстие канала гейзера, названного нами *Верхний в русле*. Пароводяная смесь выбрасывается с нерегулярной периодичностью и расходом.

Режим его действия, видимо, определяется степенью попадания холодной речной воды в канал гейзера. Выше этих гейзеров в долине Гейзерной глубинные термальные хлоридно-натриевые воды разгружаются только в виде источников. Последний и самый высокий по абсолютной высоте встречен в 200 м от Верхнего гейзера на левом берегу. Это кипящий восходящий источник с дебитом 0,2 л/с. По существу, источник (*Верхний Хлоридный*) обозначает верхнюю границу VIII участка. Можно сказать, что за ней Долина гейзеров становится просто долиной р. Гейзерной.

## Участок Верхне-Гейзерных источников (IX)

Расположен практически только на левом склоне долины р. Гейзерной, в 5 км выше ее устья. Термальное поле обязано своим происхождением выходам на поверхность пара. Характерной его особенностью является отсутствие восходящих кипящих источников и гейзеров, свидетельствующих о разгрузке вод хлоридно-натриевого состава. Основные термопроявления – мощные струи насыщенного пара, кипящие или грязевые бессточные котлы, вода в которых представляет собой конденсат, смешанный с водой поверхностного стока. Почти в самой верхней по течению реки части поля наблюдается единственный выход перегретого пара (температура 110 °С), сопровождаемый выделением газа. Характерным для этого поля является также разгрузка теплых и горячих вод в виде нисходящих источников. Формирование их, очевидно, связано с конденсацией пара.

Верхне-Гейзерное – второе по величине термальное поле. Оно вытянуто в виде отдельных пятен по долине Гейзерной почти на 1 800 м и имеет ширину до 300 м. Общая площадь грунта, нагретого до температуры 20 °С на глубине 1 м, здесь составляет 0,34 км<sup>2</sup>, а отдельных пятен – до 0,1 км<sup>2</sup>. Оно начинается в 350 м выше по течению реки кипящего источника *Верхний Хлоридный* появлением на левобережном склоне на высоте более 100 м над рекой термальной площадки. Визуально она выделяется по белесым и желтым пятнам измененных пород и отдельным паровым струям и имеет размеры 600 х 250 м. Далее

вверх по реке термальное поле опускается вниз почти до самой реки и протягивается по левобережному склону на расстояние в 600 м при ширине 100–200 м. В первой половине термального поля самые примечательные термопроявления приурочены к бассейнам руч. Теплого и Горячего, в основном – к их верховьям. Ручей Теплый начинается с выхода на поверхность воды с температурой 26–31 °С в виде нисходящих источников, прослеживаемых почти на стометровом отрезке ручья. Самый верхний выход воды находится чуть ниже подножья обрывов, сложенных черными андезитодацитовыми и дацитовыми лавами. Источники дают начало небольшим ручейкам (с расходом около 20 л/с), составляющим левый и правый ветви Теплого. Местами ручейки разливаются, образуя теплые крошечные озера среди крупных глыб лавы. В среднем течении руч. Теплого на правом берегу находится мощная паровая струя (фото 92). Расход ручья в устье достигает 180 л/с при средней температуре 25,5 °С.

Ручей Горячий также своим истокам обязан теплым



92. Паровые струи и гидротермально-измененные породы Верхне-Гейзерного поля

источникам. До 1986 г. ручей действительно был горячим благодаря выходу в его верховье мощной парогазовой струи, расположенной в воронке, по форме похожей на чечевицу, с длинной осью в 7 м, короткой – 3 м. Воронка была заполнена водой стекающего в нее теплого ручейка, холодной водой поверхностного стока и конденсатом пара. Вода в воронке нагревалась паром до температуры 70 °С. На поверхности воды в воронке были видны бурлящие грифоны, образованные прорывающимися через воду паром и газом. Отсюда его название – *Бурлящий котел*. В холодную погоду поднимающийся на высоту 200–300 м столб пара можно было наблюдать даже с центральной части Долины гейзеров. Скорее всего, именно этот столб пара видели в свое время В. Л. Комаров и Б. И. Пийп, пересекая северное подножие вулкана Кихпиныч. Вытекающая из воронки подземным путем через узкую (примерно 20 м) перемычку вода и представляла, в сущности, горячий ручей. Вода в воронке и ручье ниже ее приобрела характерный белесый цвет, мутность и запах сероводорода, связанный с растворением при конденсации кислой сероводородной компоненты. Общий расход ручья составлял 193 л/с, температура воды в приустьевой части – 40–45 °С. В 1986 г. Бурлящий котел исчез, Горячий ручей превратился в маленький теплый ручеек, а поверхность термального поля была усеяна обвальными отложениями, в основном обломками лавовых пород верхней части склона (фото 93). Изменение гидротермальной деятельности и обвал, возможно, явились следствием произошедшего незадолго до этого сильного землетрясения.



93. Истоки руч. Горячего – Бурлящий котел после 1986 г.



94. Выход перегретого пара (температура 110 °С) на Верхне-Гейзерном поле – Фумарола

За руч. Горячим вверх по течению реки термальное поле подходит к руслу, занимая здесь террасированную поверхность левого берега. Большая часть поля расположена на самом высоком от реки уровне, имеет ширину 30–40 м и вытянута вдоль реки на 150 м. Своеобразным центром поля является небольшое озерко с кипящей от многочисленных парогазовых струй водой. К концу лета оно выкипает, превращаясь в площадку рассредоточенных выходов пара. Рядом с озерком – холмик гидротермально-измененной глины с корочками серы и пятнами парящего грунта, так называемый «серный бугор». Кроме того, в небольших промоинах наблюдаются грязевые кипящие котлы, отдельные выходы пара. Вода, образующаяся при конденсации пара в котлах и ручейках, обычно кислая и имеет сульфатно-кальциево-натриевый состав с минерализацией 0,7–1,5 г/л. Отсюда хорошо видны термальные площадки по обоим бортам в верховьях руч. Подъем, выделяющиеся ярким желтым цветом и двумя мощными паровыми струями.

На правом берегу Гейзерной имеется только одно место гидротермальной активности в 250 м выше устья руч. Теплого: выступ-глыба (у самого русла реки) пестро-цветных гидротермально-измененных пород с пятнами парящего грунта. Река Гейзерная обходит этот выступ, делая крутой поворот влево. И наконец на левобережье р. Гейзерной, в 300 м выше упомянутого выступа, в русле малозаметного ручейка в 100 м от его устья находится примечательный концентрированный выход перегретого пара, названный нами из-за высокой температуры (110 °С) *Фумаролой*. Фумарола и окружающие ее кипящие воронки и котлы с температурой 95–98 °С и небольшие серные бугорки расположены в воронкообразном понижении верховьев ручейка, стенки которого сложены желтыми гидротермально-измененными глинами (фото 94). Далее вверх по течению реки (до руч. Кровавого) наблюдаются лишь отдельные, едва различимые термальные площадки.

Все остальные термопроявления верхней части бассейна Гейзерной кратко охарактеризованы в предыдущих разделах путеводителя.

## Отложения термальных вод

*На земле нет рая.  
Разве что кусочки его,  
разбросанные по свету.*  
Жюль Ренар

### ГЕЙЗЕРИТЫ

Те счастливы, которым удалось побывать в Долине гейзеров на Камчатке и наблюдать, например, извержение гейзера Великана, никогда не забудут своих ощущений. Удивительное сочетание двух чувств – восторга и страха одновременно вызывает у людей наблюдение этого буйства природы.

Гейзеры! Уникальные природные кипящие фонтаны. Но в них кипит не пресная вода, а раствор, содержащий до нескольких граммов на литр всевозможных солей, в том числе иногда до полуграмма кремнезема. Кремнезем может находиться в воде в четырёх формах: 1) растворённой – ионной и молекулярной; 2) агрегатной – коллоидной, золе- и гелеобразной, которая может переходить в растворённую; 3) взвеси частиц с адсорбированными на их поверхности силикатами и тех же агрегатов кремния; 4) кремнеорганических соединений. В гейзерных водах кремний присутствует, главным образом, в растворённой и в меньшей степени – в коллоидной форме. Как известно, растворимость большинства солей падает с понижением температуры. При выбросе кипящего раствора с глубины канала гейзера на поверхность земли происходит резкое снижение температуры, давления, интенсивное парообразование и, как следствие, – потеря растворённой углекислоты и некоторое понижение щёлочности раствора. Кроме того, с паром уходит порядка 10 % дистиллята, и остающийся раствор будет более минерализован. Таким образом, охлаждённая вода гейзера становится пересыщенной относительно кремнезёма, и он выпадает из неё в виде своеобразной накипи окислов кремния – гейзерита.

Гейзерит представляет собой коллоидное, аморфное, т. е. ещё не раскристаллизо-

ванное вещество, состоящее из кремнезёма и молекул воды. Кремнистые отложения в природе отлагаются из двух типов вод – субщелочных и щелочных перегретых вод хлоридно-натриевого состава и из кислых вод, обогащённых кремнекислотой. В областях современного вулканизма практически все гейзериты отлагаются из субщелочных термальных вод с так называемым гейзерным режимом излива. Вокруг каналов часто извергающихся гейзеров обычно образуются гейзеритовые постройки разной конфигурации. Часто это покровы, плащеобразные поверхности, покрывающие склоны (фото 95). Нередко вокруг каналов гейзеров образуются причудливые башни, своеобразные пьедесталы, столбы, конусы гейзерита (фото 96, 97). Иногда они лепятся к склону по типу ласточкиных гнёзд.

Очень интересны морфологические различия гейзеритов. Так как кремнезём выпадает в виде коллоида, то его плёнки обычно образуют сферические микрочковидные структуры (фото 98). В случае гладкой поверхности стока, по которой сбегает гейзерные воды,



95. Гейзеритовый плац гейзера Тройного

гейзерит также будет иметь гладкую поверхность. При слабом наклоне плоскости стока воды образуются гейзериты с волнистой поверхностью. На крутых склонах вблизи грифона образуются чешуйчатые гейзериты, массивы которых состоят из перекрывающихся друг друга тонких слоев, чешуи кремнезёма. Вдали от грифона



96. Гейзеритовый конус гейзера Сахарного



97. Гейзерит гейзера Соседа

эти чешуйки приобретают облик тонко-листоватых наслоений (листовые разности). В лужицах с застойной водой и при редких извержениях образуются корочки с «такыровой» структурой за счёт полигональных трещин. В зоне парообразования на внешних стенках грифона гейзера обычно образуются гейзериты гроздевидного облика. На внутренней поверхности грифона в этих случаях образуется мелкопочковидный гейзерит с бархатистой поверхностью. Особый интерес представляют коралловидные разновидности гейзерита, напоминающие колонии морских кораллов. Их «ветви» и наросты образуются на плоской поверхности, на некотором удалении от устья грифона гейзера, в пределах падения сверху воды, выбрасываемой при извержении. Иногда, при отсутствии в воде макропримесей и каких-либо местных красителей, в этих же условиях образуется жемчугоподобный гейзерит. Его сферические гороховидные микропочковидные агрегаты белого цвета с жемчужным блеском превращают гейзеритовый покров в образование изумительной красоты. В случае слияния нескольких таких крупных сферул образуются своеобразные «розы», шары с поверхностью типа цветной капусты и т. п. (фото 99). Пигментирующие вещества (тонкая взвесь глинистых минералов, гидроокислов железа, алюминия, окислов меди и других соединений) окрашивают гейзерит в разные цвета (фото 100, 101). Вокруг мелких выходов – так называемых «карликовых гейзеров», которые практически являются мелкими пульсирующими источниками, брызги воды формируют гейзерит с сотовидной, петельчатой морфологией поверхности.

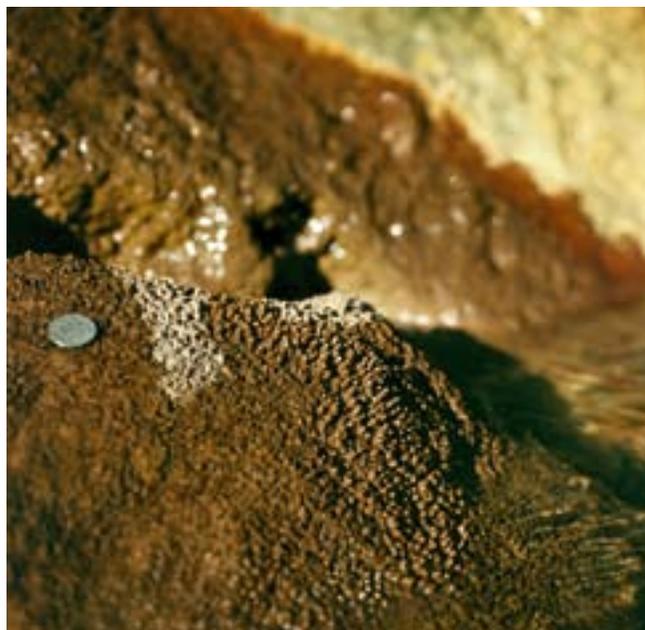
Подмечено, что в зонах гейзеритовых построек с температурой менее 55 °С развиваются колонии синезелёных водорослей. Если брызги воды попадают на занесённые на постройку ветром стебли, листочки растений, кусочки мха, то последние фоссилизуются, и, цементируясь тем же кремнезёмом, участвуют в формировании постройки гейзерита. Благодаря таким кусочкам захороненной органики удаётся определить возраст гейзерита. Так, в основании гейзеритовой постройки гейзера Тройного нами был обнаружен обломок фоссилизированной ветки кедрового стланика с ещё сохранившимися органическими волокнами. Радиоуглеродный метод датировки позволил определить



98. Сферические микропочковидные разности гейзерита. Гейзер Тройной



99. Гейзеритовый наплыв в виде цветной капусты



101. Красный гейзерит (с примесью гидроокислов железа)



100. Ручеек, русло которого устлано кремнистыми натеками и гейзеритом, окрашенными гидроокислами железа в красный цвет

возраст этой гейзеритовой постройки. Он оказался около 800 лет. Мощность слоистого гейзерита в этом месте достигала 30 см. Получается, что на формирование слоя гейзерита толщиной в 1 мм требуется примерно 2,5 года. Следовательно, в постройке гейзерита за такое большое время существования неизбежно должны происходить процессы раскристаллизации. Действительно, в массе кремнезёма, очень неоднородной по своей структуре, текстуре и химическому составу, со временем возникают скопления кристаллов различных минералов.

К настоящему времени выявлено 13 разновидностей минералов и аморфных образований кремнезёма в гейзеритах Долины гейзеров. Это прежде всего силикагель – аморфный кремнезём белого, серого цве-

та, сильно обогащённый водой. Рентгенографический анализ не выявляет в этом веществе никакой упорядоченности структуры. Элементы упорядоченности, связанные с присутствием минерала  $\alpha$ -кристобалита, наблюдаются в опале, который в Долине гейзеров имеет следующие разновидности: молочный опал (белый, серый, светло-фиолетовый или розовый); гиалит (стекловатый, бесцветный, прозрачный в тонких сколах); кахчолонг (непрозрачный фарфоровидный); фиорит (перламутровая или жемчужная накипь); гидрофан (белый или светло-голубой, который при поглощении воды становится прозрачным).

В кислых водах образуется благородный опал (джирозоль), имеющий голубоватый, голубовато-белый цвет, с лёгкой опалесценцией, при ярком свете просвечивающий, с красноватыми рефlekсами. На участках проявления и щелочных, и кислых вод часто наблюдается так называемая «опаловая мука». Это порошковатый опал мучнистого облика разных цветовых оттенков, в зависимости от которых он называется виерцолитом, просевурейтом, миловитом. В полостях массивных гейзеритов нередко встречаются мельчайшие кристаллики короткопризматического кварца, пластинки  $\alpha$ -тридимита и иголки  $\alpha$ -кристобалита.

## ТЕРМОФИЛЬНЫЕ ВОДОРОСЛИ

Первое, что бросается в глаза при взгляде, например, на склон в Долине гейзеров, носящий красивое название Витраж, – это разноцветные полосы ручейков, стекающих от многочисленных крупных и мелких гейзеров и пульсирующих горячих источников (фото 102). В этом многоцветье большая роль принадлежит термофильным микроорганизмам и водорослям. Преимущественным развитием в Долине гейзеров пользуются синезелёные водоросли. Их сочные, разной толщины плёнки выстилают дно почти всех водотоков

с умеренной температурой, инкрустируют берега ручьёв с температурой не выше 65 °С. Встречаются синезелёные водоросли в виде длинных нитей, их агрегатов, прикреплённых к камням и прихотливо струящихся в стоке воды (фото 103, 104).

Синезелёные водоросли – древнейшие организмы Земли. Они заселили водоёмы ещё в докембрии, т. е. почти миллиард лет назад. Науке известно более 100 видов синезелёных водорослей, обитающих в горячих источниках. Принято называть термофильными, то есть теплолюбивыми, водоросли, которые имеют оптимум развития в диапазоне 45 °С и выше. Подмечено, что термофильные водоросли лучше развиваются в источниках с повышенным содержанием растворённых минеральных веществ, содержащих Na, K, Ca, Cl и др. и имеющих первостепенное значение для жизни организмов. Кроме того, в горячих источниках обычно наблюдается повышенное, по сравнению с пресноводными, содержание таких элементов, как F, Br, Mn, Mg, Si, Fe, Cu и других металлов.

В термах Долины гейзеров преимущественным развитием пользуются такие виды, как *Mastigocladys laminosus*, с его многочисленными морфологическими формами (плёнки, нити, губчатые образования); *Synechococcus lividus*; *S. elongatus*; *Phormidium laminosum*; *Oscillatoria terebriformis*. Нитчатые, ячеистые и ветвистые плёнки, иногда студенистые массы тёмно-зелёного цвета, водоросли *Phormidium laminosum* обнаруживаются во многих нейтральных и щелочных источниках в интервале температур 40–65 и даже 78 °С. Особенно обильно они развиваются при 40–50 °С, иногда полностью покрывая поверхность водоёма толстой кожистой плёнкой (матом). При температуре более 50 °С они формирует короткие нити. Наиболее пышно *Phormidium laminosum* развивается в слабощелочной воде с pH = 7–8,5, хотя может присутствовать в ассоциации с другими микроорганизмами в интервале pH = 5–9,5.

Многие синезелёные водоросли могут интенсивно развиваться в водах, содержащих такие токсичные элементы, как ртуть, мышьяк, сурьма. Исключительно высока роль синезелёных водорослей в производстве кислорода и, соответственно, хлорофилла в результате фотосинтеза на свету. Так, по данным экспериментальных исследований Института микробиологии РАН, проведённым на термальных полях Камчатки, экстракция хлорофилла из гравелитов, на которых визуально не отмечалось развитие микроорганизмов, обнаружила до 40 мг хлорофилла с квадратного метра площади. Там, где были видимые синезелёные водоросли, выделилось от 40 до 300 мг/м<sup>2</sup> хлорофилла, а с площади с зарослями травы и кустарника – всего 30–100 мг/м<sup>2</sup>.



102. Разноцветные полосы в ручейках, образованные термофильными водорослями и гейзеритом на склоне Витраж. Слева вверху гейзер Новый Фонтан



103. Длинные нити термофильных водорослей, прихотливо струящихся в водотоке



*104. Ветвистые студенистые пленки темно-зеленых термофильных водорослей свисают вместе с падающей термальной водой на склонах Долины гейзеров*

Оптимальными условиями для роста синезелёных водорослей являются такие, когда температура водоема не превышает 70 °С, рН ~ 7–7,5 и поверхность водорослей обильно смачивается термальной водой, поток которой имеет толщину не более 2–3 мм. Скорость роста синезелёных водорослей в этих условиях достигает 0,5–1 мм<sup>2</sup> в сутки. Если поток воды

ослабевает, то водоросли подсыхают и погибают. По последним исследованиям, синезелёные водоросли участвуют в формировании построек гейзерита. Под электронным микроскопом в гейзерите иногда обнаруживаются их окремненные нити и трубчатые образования. Классическим объектом развития колоний синезелёных водорослей в Долине гейзеров является постройка гейзера (точнее – пульсирующего источника) Малахитовый Грот. Своё название он получил как раз из-за обильного обрастания гейзерита синезелёными водорослями малахитовой расцветки. Конечно, никакого медного минерала малахита в его постройке нет. Но именно водоросли делают его сказочно-прекрасным.

Помимо аэробных синезелёных водорослей в Долине гейзеров обнаружены анаэробные, так называемые литотрофные микроорганизмы. Для своего жизненного процесса они используют не энергию солнечного света или другую органику, а минеральные соединения из пород или воды – сульфат, серу, окислы железа, водород, окислы углерода и т. д. При этом обычно образуются газы – водород, метан, сероводород. Так, в районе гейзеров Сахарного и Соседа микробиологами выделен новый литотрофный микроорганизм – метаноген с температурным оптимумом 60 °С. А при 55 °С выявлен другой микроорганизм, который производил водород при анаэробном окислении угарного газа. В районе гейзера Великана обнаружены участки тёплого грунта, где за счёт литотрофных термофильных бактерий идёт процесс восстановления окисного железа с образованием магнетита. Эти микроорганизмы, конечно, не видны глазом, но деятельность их очень велика.

## Связь деятельности гейзеров с гидротермальной системой, механизм их действия

Схема Гейзерной гидротермальной системы (рис. 4) иллюстрирует вышеизложенное представление о формировании потока высокотемпературных напорных вод. В зоне их разгрузки, там, где благодаря врезу р. Гейзерной напорный уровень превышает отметки рельефа, подземные воды поднимаются по трещинам к поверхности. По мере их движения вверх уменьшается гидростатическое давление. Поскольку температура воды превышает 100 °С, на некоторой глубине начинают появляться пузырьки пара, количество которого все более возрастает, чем ближе вода подходит к поверхности и чем меньше становится давление. Достигнув точки кипения, вода при дальнейшем подъеме «держит» температуру кипения, а избыток тепла, приносимого свежими ее порциями, превращает часть воды в пар. В результате на поверхности появляются пароводяные, кипящие источники, характеризующиеся не только изливом воды, но и выходом пара, и гейзеры, имеющие прерывистый характер извержения пароводяной смеси. Очевидно, что кипящие источники и гейзеры занимают верхнюю и небольшую часть всей системы, движение высокотемпературной воды (температура более 100 °С) в которой есть обязательное условие для их существования. Только вода с температурой, значительно превышающей точку кипения при атмосферном давлении, может вскипать еще до выхода на поверхность. Давление образующегося пара при этом может быть выше давления водного столба и привести к выбросу пароводяной смеси.

По аналогии с гидротермальными системами, изученными с помощью буровых скважин, и учитывая рассчитанную по данным геотермометров температуру в недрах Гейзерной системы, можно полагать, что вскипание поднимающейся по трещинам и затем каналам гейзеров воды начинается на глубине, намного превышающей глубину видимой части каналов гейзеров. Например, в скважинах Паужетского геотермального месторождения уровень начала парообразования в зависимости от конкретных гидрогеологических условий изменялся от 50 до 200 м при температуре резервуара 150–200 °С. Трещины, по которым высокотемпературная вода поднимается вверх на участках развития гейзеров, как показывают наблюдения, пред-

ставляют собой направленные вниз каналы, открытые к поверхности. Форма и площадь их верхнего сечения разнообразны: от круглого до щелевидного, от нескольких квадратных сантиметров до первых квадратных метров. Глубину их заложения удается проследить на небольшом расстоянии от поверхности, так как с удалением эти необычные жерла, заметно сужаясь, теряются в глубине, где соединяются с питающим гейзеры водоносным горизонтом (резервуаром). Некоторые детали строения выходного канала можно наблюдать в перерыве между извержениями. Точную форму и размеры каналов гейзеров на глубине узнать практически невозможно. Более или менее просто можно определить объем канала сразу после извержения. Нам удалось это сделать, закачивая в опустошенный канал холодную воду и измеряя ее расход. Как и следовало ожидать, наибольший объем каналов (вернее, верхних их частей) оказался у гейзеров, характеризующихся мощными извержениями: Великан (25 м<sup>3</sup>), Большой (20 м<sup>3</sup>), Малый (18 м<sup>3</sup>).

Действие гейзера, как уже упоминалось выше, начинается с излива воды, охлажденной в ходе предыдущего извержения гейзера. Постепенно некоторая равномерность в изливе нарушается отдельными выплесками воды и выделением пузырей пара, которые иногда сопровождаются короткими перерывами в изливе, хотя с течением времени в целом наблюдается его усиление. Момент появления пузырьков пара в изливающейся воде свидетельствует о начале парообразования в более глубоких частях подводящей гидротермы трещины или канала гейзера. Постепенно количество пузырьков пара в канале возрастает, так как продолжающийся излив воды вызывает приток все более нагретой ее порции. Соответственно, постепенно уменьшается гидростатическое давление в канале, поскольку вес столба воды с паром значительно меньше веса столба не затронутой кипением воды.

Следует иметь в виду также, что пар занимает значительно больший объем. Например, при температуре 150 °С и избыточном давлении 1 бар 1 кг пароводяной смеси содержит всего 5,6 весового процента пара, но занимает объем 50 л. При нормальном атмосферном давлении весовая доля пара возрастает до 9,3 %,

а объем – до 157 л. То есть пар занимает приблизительно в 50 и, соответственно, 150 раз больший объем, чем вода. Можно сказать в этом случае, что увеличивающийся в объеме пар как бы выталкивает воду из канала гейзера. Чем больше изливается или уже выбрасывается воды и пароводяной смеси из канала и интенсивнее поступает в него все более нагретая вода, тем больше образуется пара на все более глубоких уровнях. Кипение охватывает весь столб воды в канале и в подводящей трещине. В результате начинается бурное фонтанирование пароводяной смеси, что и называется извержением гейзера. В этот момент за короткое время выбрасывается огромное количество воды и пара по сравнению с расходом при изливе до начала кипения. Эффектное извержение гейзера довольно быстро прекращается, видимая деятельность гейзера затухает, и часто над каналом наблюдается слабое выделение пара. Наконец прекращается и парение. Наступает относительный покой до нового извержения, в течение которого опустошенный канал постепенно заполняется новыми порциями высокотемпературной воды, поступающей из водоносного пласта. Далее можно наблюдать повторение описанной картины работы гейзера, в которой заметно выделяются четыре основные стадии, составляющие один полный цикл. Их условные названия: стадия излива, стадия фонтанирования, стадия парения и стадия наполнения или восстановления уровня воды в канале (рис. 7). Полный период работы гейзера, включающий все стадии, называют периодичностью гейзера и измеряют ее временем, проходящим от одной стадии до другой такой же стадии следующего цикла, например, временем между стадиями фонтанирования (извержения).

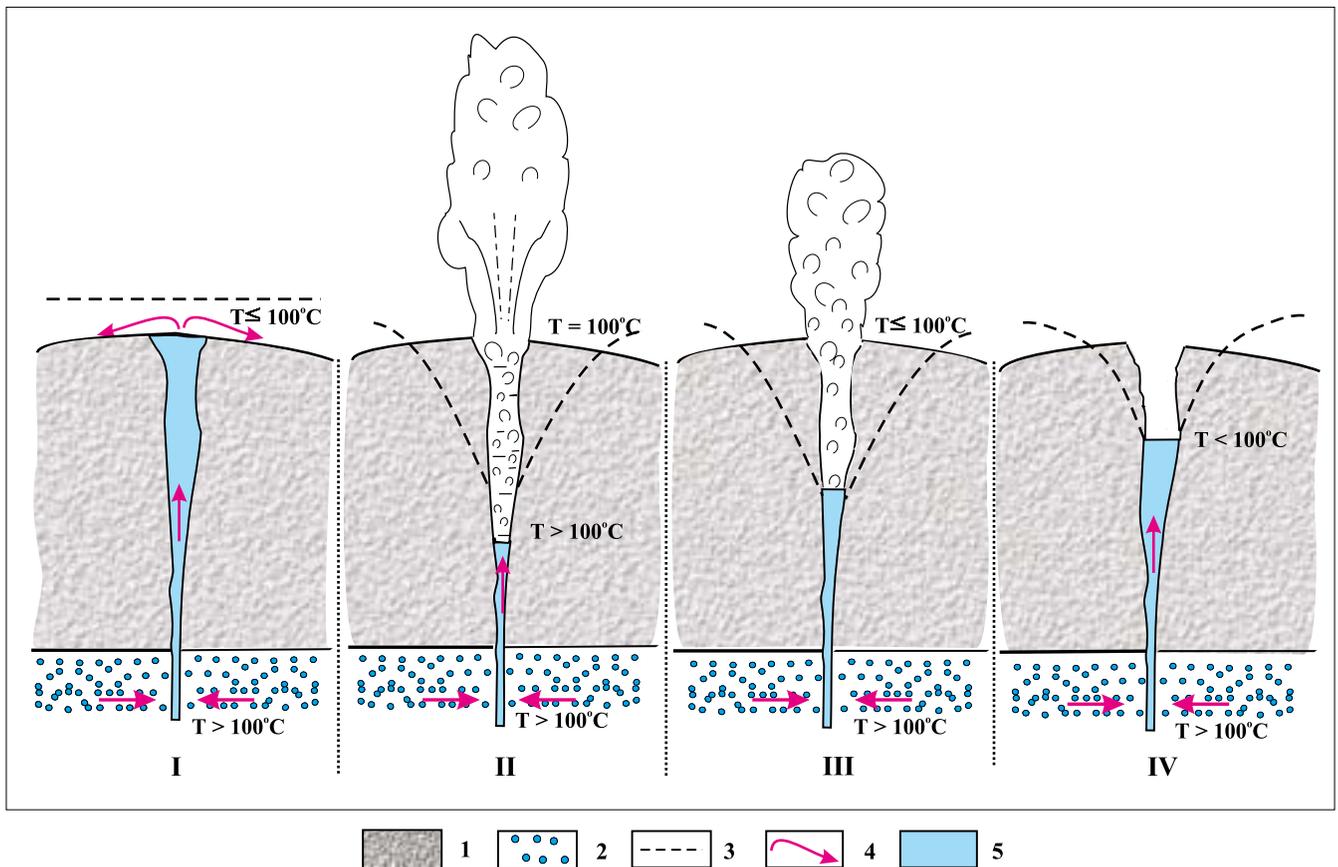
Из многих гипотез, объясняющих причины прерывистого и разнообразного характера действия гейзеров, большая часть опирается на фактор возможного поступления холодной воды в канал и сложность его строения. Г. Маккензи, впервые (в 1811 г.) затронувший вопрос о механизме действия гейзеров, пришел к заключению о большой роли подземных камер, где происходит образование пара, участвующего в извержении гейзеров. Затем эти представления в 1883 г. развил Круг фон Нида, добавив рассуждения об условиях прохождения пара через столб воды и его скоплении в подземных камерах, обуславливающих различие между кипящим источником и гейзером. В 1846 г. Р. Бунзен и А. Деклаузо, чтобы объяснить действие гейзеров Исландии, разработали теорию их извержений. В ее основу положены данные распределения температуры в водном столбе канала гейзера, показавшего перегрев воды и, соответственно, возможность образования пара в канале. Это и приводит в конечном итоге к извержению пароводяной смеси. По сути правильный подход, к сожалению, не нашел в то время дальнейшего развития для объяснения периодической работы гейзеров. Х. Ланг (1880 г.) прерывистое действие гейзеров связывал с притоком холодной воды. Достаточно реалистические представления о действии гейзеров изложили Е. Аллен и А. Дэй (1935 г.), опиравшиеся в своей работе на 65-летние наблюдения за

гейзерами Йеллоустонского национального парка. Однако и они считали, что приток холодной воды в канал гейзера является необходимым условием их периодического действия. В общем, правильное объяснение действия гейзеров и необходимых условий их существования сделано Т. И. Устиновой. Хотя и она привлекает, как обязательное условие перерыва в работе гейзеров, поступление в канал холодной воды.

Многое в реализации гейзерного режима прояснилось в ходе изучения геотермальных месторождений с помощью бурения скважин, продукция которых, в частности, представляет собой пароводяную смесь (фото 105). Некоторые скважины, как, например, на Паужетском месторождении (Камчатка), характеризовались прерывистым (гейзерным) режимом истечения пароводяной смеси. Пароводяная скважина хорошо изолирована в верхней части обсадной трубой, что исключает приток в нее холодных поверхностных и грунтовых вод. В отличие от природных гейзеров в данном случае роль канала выполняет обсадная труба с известным и постоянным сечением и правильной геометрией. Возникновение гейзерного режима в такого рода скважинах опровергает как главные факторы влияния на прерывистый режим работы гейзеров периодическое попадание холодной воды или изменяющуюся геометрию канала.

Принципиально верный механизм действия гейзеров стал понятен при анализе работы пароводяных скважин, показавшем, что процессы, приводящие к гейзерному режиму, связаны с системой скважина (канал гейзера) – водоносный пласт. В 1959 г. А. С. Нехорошев и В. В. Аверьев одновременно показали, что эффект опережающего движения пара в стволе скважины (канала гейзера) является ведущим в возникновении гейзерного режима. Из-за различных физических свойств вода и пар в стволе пароводяной скважины и канале гейзера движутся с различными скоростями, причем пар, обладающий меньшими объемным весом и вязкостью, движется значительно быстрее воды. В результате, за счет постоянного кипения и отделения пара температура воды понижается ниже точки кипения при данном давлении (в канале гейзера до 100 °С). Кипение прекращается, соответственно прекращается выделение пара, и депарированная вода остается в канале. Наступает перерыв в извержении гейзера.

Напомним важное обстоятельство. Из-за превосходящего объема пара, по сравнению с тем же по весу объемом воды, опережающее движение пара возможно по каналам достаточно большого сечения. В противном случае значительное гидравлическое сопротивление существенно ограничит «свободное» его движение. Поэтому выходные отверстия каналов гейзеров представляют часто обширные бассейны (ванны), а сами каналы достигают в сечении нескольких квадратных метров. В практических работах по испытанию пароводяных скважин на Паужетском геотермальном месторождении их гейзерный или пульсирующий режим удалось перевести в непрерывный режим истечения пароводяной смеси за счет уменьшения сечения выходного отверстия регулируемым вентилем. Умень-



**Рис. 7. Принципиальная схема действия гейзера:**

I – Стадия излива воды, охлажденной в ходе предыдущего извержения гейзера ( $T \leq 100^\circ\text{C}$ ). Равномерность излива нарушается отдельными выплесками воды и выделением пузырей пара, которые иногда сопровождаются короткими перерывами в изливе, хотя в целом наблюдается его усиление за счет притока высокотемпературной воды ( $T > 100^\circ\text{C}$ );

II – Стадия извержения. Приток все более нагретой порции высокотемпературной воды ( $T > 100^\circ\text{C}$ ) приводит к увеличению пузырьков пара, уменьшая гидростатическое давление в канале, поскольку вес столба воды с паром значительно меньше веса столба не затронутой кипением воды. Кипение, наконец, охватывает весь столб воды в канале и в подводящей трещине. В результате начинается бурное фонтанирование пароводяной смеси, что и называется извержением гейзера;

III – Стадия парения. После эффектного извержения гейзера часто над каналом наблюдается слабое парение, с прекращением которого заканчивается видимая деятельность гейзера (температура на поверхности воды в канале и его устье равна или менее  $100^\circ\text{C}$ );

IV – Стадия наполнения или восстановления уровня воды в канале. Период относительного покоя до нового извержения, в течение которого опустошенный канал (температура на поверхности воды в канале менее  $100^\circ\text{C}$  –  $T < 100^\circ\text{C}$ ) постепенно заполняется новыми порциями высокотемпературной воды, поступающей из водоносного пласта.

1 – водоупорные породы; 2 – породы, содержащие подземные воды с температурой более  $100^\circ\text{C}$ ; 3 – пьезометрический уровень; 4 – направление движения горячих вод; 5 – положение воды в канале гейзера и подводящей трещине в различные стадии цикла

шение сечения отверстия приводит к ограничению выхода пара, вследствие чего вода уже не отстаёт от него, они движутся вместе и одновременно выбрасываются из скважины. Это же происходит при работе кипящих (пароводяных) источников с постоянным или пульсирующим режимом.

Сходные представления о действии гейзеров были изложены также Дональдом Е. Уайтом (США).

А какова же роль водоносного пласта?

Выше говорилось о том, что после прекращения извержения гейзера его действие может возобновиться тогда, когда охлажденная кипением вода нагреется до температуры выше точки кипения при данном давлении. Это происходит, как правило, за счет поступления в канал новых порций нагретой воды из водоносного пласта. Скорость (расход) этого поступления зависит от фильтрационных свойств водовмещающих пород, а точнее – от конкретной гидрогеологической обстановки на участке расположения гейзеров. Если водоприток в канал (скважину) ограничен, то неизбежен

более или менее длительный перерыв в извержении, так как значительный расход пароводяной смеси в момент извержения не компенсируется поступлением воды. Поэтому можно сказать также, что причины гейзерного режима кроются в несоответствии между недостаточным питанием гейзера и выбросом большого объема пароводяной смеси, определяемым обширным диаметром канала гейзера. Математическими расчетами это подтвердил позднее известный исследователь гейзерного процесса В. А. Дроздин.

Постоянно действующие и пульсирующие кипящие (пароводяные) источники характеризуются установившимся равновесием между притоком воды и истечением пароводяной смеси. Неслучайно пароводяная смесь в них выходит из узких трещин или небольших отверстий в породах. А сами источники располагаются вблизи уреза р. Гейзерной или в руслах ручьев, где имеются более благоприятные условия для поступления высокотемпературной воды на поверхность. В отличие от источников, гейзеры, как отметила ещё



© Сугробов В. М.

**105. Вертикальный выпуск пароводяной смеси из скважин на Большие-Банном геотермальном месторождении (Камчатка)**

Т. И. Устинова, отмечают в среднем на более высоких гипсометрических уровнях.

Итак, можно назвать необходимые условия существования гейзеров:

1. Наличие водоносного пласта, содержащего воду с температурой более 100 °С.

2. Возможность кипения в канале или подводящей трещине за счет притока высокотемпературной воды и достаточно большого сечения (объёма) канала.

3. Замена охлажденной воды в канале более высокотемпературными ее порциями либо путем излива (чаще всего), либо нагрева за счет конвекции. В целом это выражается в возможности выброса большого количества высокотемпературной воды в виде па-

роводяной смеси и несбалансированным её притоком в канал. Следует отметить, что холодная вода попадает в выходное отверстие гейзера в виде осадков или охлажденной, извергнутой воды самого гейзера. Но это может сказаться только на кратковременном изменении длительности цикла и не может повлиять на прерывистое действие гейзера в целом.

Изложенные представления об общем механизме действия гейзеров не всегда можно применить для объяснения действия конкретных гейзеров, настолько разнообразен их режим. Многие исследователи даже полагают, что необходима разработка механизма действия для каждого гейзера. На самом деле разнообразный характер действия гейзеров укладывается в рамки рассмотренной схемы, но требует для его объяснения привлечения второстепенных факторов, также влияющих на действие конкретного гейзера в реальной обстановке. Различный характер деятельности определяется, прежде всего, гидрогеологическими условиями: положением пьезометрического уровня термального водоносного комплекса, фильтрационными свойствами водосодержащих пород, а также сечением и формой верхней части канала и его объемом. Наряду с крупными известными гейзерами, в действии которых ясно выделяются упоминавшиеся четыре стадии, существуют небольшие гейзеры с нечетко выраженными стадиями излива и парения или даже их отсутствием. Пропуск стадии излива, обычно наблюдаемый у гейзеров с малым расходом воды и продолжительностью цикла, можно объяснить тем, что канал гейзера хорошо изолирован и прогрет близ расположенными выходами горячей воды и пара. После прекращения извержения вода, оставшаяся в канале, нагревается не только за счет поступления перегретой воды из глубины, но и при контакте с нагретыми стенками канала, и, едва поднявшись к поверхности, вскипает, начиная новое извержение.

Напротив, для гейзеров с такими же характеристиками отсутствие стадии парения объясняется охлаждением верхней части канала гейзера (например, попаданием холодной воды) и быстрой конденсацией пара в канале. В некоторых случаях парение просто незаметно, если расход пара ничтожно мал.

Уже в результате обработки первых систематических записей периодичности основных гейзеров в Долине гейзеров Н. Г. Сугробовой были выделены гейзеры с относительно постоянным ритмом деятельности и гейзеры с нестабильным режимом, характеризующимся значительными изменениями продолжительности циклов. Первые, как и следовало ожидать, характеризуются небольшой площадью выходного отверстия канала, коротким циклом действия (в среднем

до 35 мин) и сравнительно небольшими объемами каналов. К ним можно отнести гейзеры Щель, Малый, Конус, Фонтан, Розовый Конус и др. Площадь воронки этих гейзеров, как правило, не превышает 1 м<sup>2</sup>, а объем воронки и канала обычно меньше 10 м<sup>3</sup>. Режим этой группы гейзеров в меньшей степени зависит от вариаций гидрометеорологических факторов. Гейзеры второй группы (Великан, Горизонтальный, Большой, Тройной, Первенец) характерны тем, что они имеют большие объемы каналов, а их выходные отверстия представляют большие воронки – ванны. Продолжительность циклов достигает нескольких часов, наблюдается длительный перерыв между из-

вержениями и большие амплитуды колебания продолжительности цикла во времени. Режим гейзеров этой группы характеризуется в целом большей взаимосвязью с гидрометеорологическими условиями. В этой связи можно сказать, что чем ближе устройство канала гейзера к скважине (небольшое правильной формы сечение канала и такое же выходное его отверстие), тем стабильнее цикличность гейзера. В противном случае, когда отмечается несоразмерно большое выходное отверстие в виде бассейна-ванны, а канал далек от цилиндрической формы, свойственной скважине, отмечаются заметные отклонения в регулярном ритме действия.

## Гидротермальная активность

### РЕЖИМ ГЕЙЗЕРОВ

О режиме гейзеров в Долине гейзеров сейчас мы можем судить по данным наблюдений более чем за полвека, начиная от первых записей, сделанных в 1941 г. Т. И. Устиновой. Понятно, что предметом наблюдений за режимом действия гейзеров были прежде всего продолжительность полного цикла – главная особенность, отличающая один гейзер от другого, отдельных его стадий, химический состав воды, общее состояние гейзеритовой постройки.

На первом этапе (1941–1972 гг.) наблюдения за деятельностью гейзеров носили эпизодический и разноплановый и часто случайный характер. Это касалось и выбора гейзеров для наблюдений, и времени года (как правило, лето, осень), и выделения и описания отдельных стадий, и длительности наблюдений. Тем не менее, все данные, касающиеся режима гейзеров, представляют большую ценность, как своего рода отправные точки для сравнения с последующими результатами. С 1972 г. нами и другими сотрудниками Института вулканологии проводилась систематическая регистрация периодичности основных гейзеров с помощью самопишущего уровнемера типа «Валдай». Запись производится на бумажной ленте, закрепленной на барабане, который шнуром соединен с поплавком, опущенным в водоток, по которому стекает вода из выходного отверстия канала гейзера. Колебания поплавка заставляют синхронно вращаться барабан, а закрепленное по горизонтали перо с чернилами, протаскиваемое часовым механизмом уровнемера с суточным или с недельным заводом, фиксирует таким образом на бумажной ленте положение уровня воды. 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 излива и фонтанирования. Моменты фонтанирования особенно четко отражены на диаграммах всех гейзеров характерным пиком, соответствующим резкому подъему уровня из-за увеличения расхода воды. Продолжительность цикла наиболее точно определяется по расстоянию между двумя пиками или серии таких пиков. Период отдельных стадий удавалось установить для гейзеров с большой продолжительностью цикла и стадий, как, например,

для гейзера Великана, на диаграмме которого хорошо фиксируется стадия излива и периодическое усиление излива. Примеры записи режима некоторых гейзеров уровнемером «Валдай» показаны на рисунке 8.

В последние годы запись режима гейзеров осуществляется автоматической системой регистрации, основанной на фиксировании электрического сигнала, возникающего после замыкания цепи излившейся водой. Преимущество системы, внедренной В. А. Дрозниным, заключается в возможности более точной отметки начала излива воды, автономного длительного сбора, хранения и передачи непосредственно в компьютер для дальнейшей обработки.

Для полной картины исследования режима гейзеров данные наблюдений за периодичностью дополнялись сведениями о химическом составе воды основных гейзеров, контролируемом систематическим (примерно один раз в месяц) анализом проб. Усредненная характеристика гейзеров с наибольшим периодом наблюдений приведена в таблице 4.

Выше мы говорили о том, что периодичность гейзеров заметно изменяется, прежде всего под воздействием гидрометеорологических условий. Отклонения в режиме гейзеров под влиянием изменений гидрометеорологических условий, как показали наши исследования, краткосрочны и относятся к временным, кажущимся изменениям режима. Режим быстро восстанавливается, то есть продолжительность всего цикла и его отдельных стадий приближается к средним значениям, характерным для данного времени года. Так, например, частота извержений гейзера Великана значительно изменялась в разные годы и месяцы. В 1974 г. диапазон величин полного цикла изменялся от 1 ч 30 мин до 10 ч и более; в 1976 г. – от 2 ч 20 мин до 9 ч; в 1978 г. – от 2 ч 30 мин до 8 ч 30 мин. Средняя продолжительность цикла при этом сохранялась и равнялась 5 ч. Наиболее показательны вариации цикла были в 1974–1975 гг., когда запись режима гейзеров проводилась непрерывно целый год. Наибольший разброс величин наблюдался в «неспокойные» по метеоусловиям периоды – в январе, феврале, декабре. Стабильностью режима отмечены июнь, июль 1974 г., когда циклы одинаковой продолжительностью (4–5 ч) встречались в 80 % случаев от всего числа наблюдаемых в течение месяца.

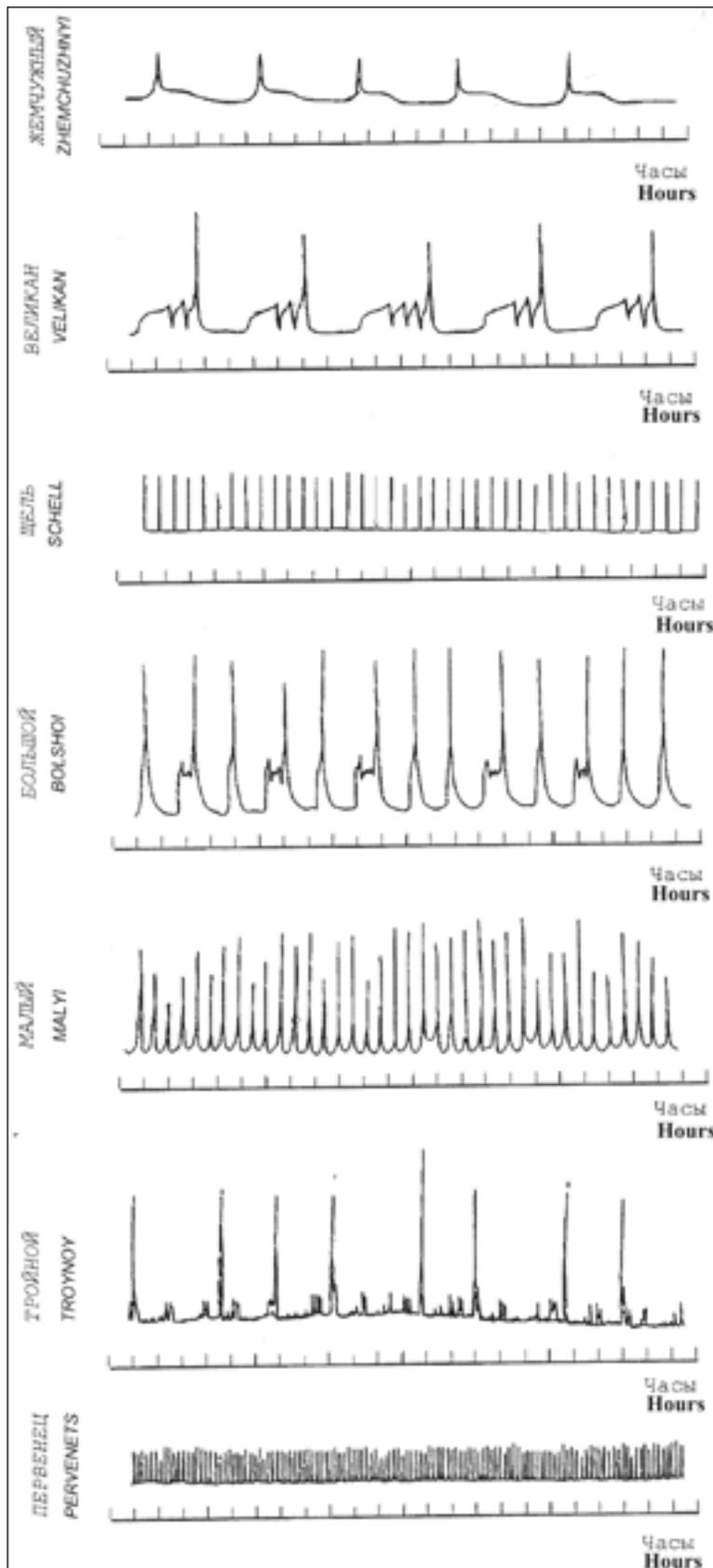


Рис. 8. Диаграммы записи режима гейзеров самописцем уровня воды «Валдай»

Поскольку гидрометеорологические факторы (атмосферное давление, уровень воды в реке, количество осадков, скорость ветра, температура воздуха) действуют одновременно и в каждый момент с различной

интенсивностью, очень трудно выявить влияние каждого из них на режим того или иного гейзера. Только анализ большого ряда наблюдений, проведенный Н. Г. Сугрובовой, позволил охарактеризовать линейную связь между среднесуточной продолжительностью цикла и соответствующими среднесуточными параметрами названных гидрометеорофакторов.

Исследование влияния на периодичность гейзеров отдельных факторов ограничивалось анализом данных по гейзерам Великан, Большой, Жемчужный, Тройной, Первенец, Щель, Малый, Конус, а также в отдельные периоды Грот, Аверьевский, Горизонтальный. Выбор этих гейзеров неслучаен. Великан, например, и Большой несли характерные черты гейзеров с большой продолжительностью цикла. Для них заметна связь своего режима с гидрометеорологической обстановкой вследствие больших площадей выходящего отверстия и объемов канала. Гейзеры Щель, Конус, Малый характеризовали многочисленные гейзеры, имеющие короткий период (до 37 мин), с меньшей реакцией на изменение гидрометеорообстановки.

Наиболее действенными факторами являются атмосферное давление, уровень реки, для некоторых гейзеров (Великан) – сила ветра, температура, осадки. Изменение атмосферного давления, особенно резкий его скачок, практически отражается на режиме всех гейзеров. Причем для гейзеров с коротким циклом (Щель, Конус и др.) связь с давлением обратно пропорциональна. Обратная реакция на изменение давления, то есть уменьшение цикла при увеличении давления, закономерна. При увеличении давления кипение внутри канала происходит при более высокой температуре, значит, уровень парообразования, соответственно, смещается на большую глубину. Чем ниже уровень парообразования, тем больше перепад между давлением в водоносном пласте и канале, и, соответственно, больше приток высокотемпературной воды. Извержение гейзера учащается, то есть интервал между извержениями стремится к уменьшению. Подобная связь характеризует влияние колебания уровня реки на режим гейзеров, расположенных вблизи уреза реки, в частности Великана и Первенца.

Исключение составляет гейзер Первенец, для которого отмечено, напротив, удлинение цикла в период подъема уровня грунтовых вод, обусловленного интенсивным выпадением осадков, особенно в циклонические периоды. Объясняется это тем, что в верхнюю часть канала гейзера, расположенного практически у самого уреза воды в реке, попадает холодная грунтовая и поверхностная вода, охлаждает термальную воду, замедляя процесс кипения. Разбавление холод-

Таблица 4. Характеристика основных гейзеров (период наблюдений 1941–1993 гг.)

| Гейзеры.<br>Geysers             | Продолжительность<br>полного цикла, минуты<br>Complete cycle duration, minutes |                              |                    | Продолжи-<br>тельность<br>извержения,<br>минуты<br>Eruption<br>duration,<br>minutes | Общая<br>минерали-<br>зация<br>воды,<br>г/л<br>Total water<br>salinity, g/l | Характерные компоненты химического состава воды, мг/л<br>Typical components of water's chemical composition, mg/l |  |   |                              |                            |                                |   |            |
|---------------------------------|--|------------------------------|--------------------|---|---|---|--|---|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|------------|
|                                 | мини-<br>мальная<br>minimum  | макси-<br>мальная<br>maximum | средняя<br>average |   |   | хлор<br>(Cl <sup>-</sup> )  | сульфат<br>(SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) | гидрокар-<br>бонаты<br>(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>+ CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | натрий<br>(Na <sup>+</sup> ) | калий<br>(K <sup>+</sup> ) | кальций<br>(Ca <sup>++</sup> ) | диоксид<br>кремния<br>(SiO <sub>2</sub> ) | бор<br>(B) |
| Первенец<br>Pervenets           | 11   | 138                          | 33                 | 1–2   | 1,4   | 440   | 115  | 70,6  | 330                          | 26                         | 18                             | 192,5                                     | 11,4       |
| Тройной<br>Troinnoi             | 110  | 270                          | 160                | 8   | 1,9   | 659   | 138  | 77,6  | 460                          | 46                         | 13                             | 248,7                                     | 18,0       |
| Конус<br>Konus                  | 18   | 37                           | 24                 | 1–1,5   | 1,6   | 596   | 125  | –   | 436                          | 32                         | 16                             | 169,4                                     | 15,4       |
| Малый<br>Malui                  | 32   | 41                           | 36                 | 5   | 1,6   | 567   | 106  | 73,7  | 412                          | 25                         | 14                             | 187,5                                     | 13,8       |
| Большой<br>Bolshoi              | 60   | 170                          | 100                | 5   | 2,1   | 794   | 163  | 59,1  | 555                          | 37                         | 23                             | 231,2                                     | 22,0       |
| Шель<br>Shchel                  | 35   | 40                           | 36                 | 1   | 2,1   | 823   | 144  | 60,8  | 546                          | 44                         | 18                             | 230,0                                     | 16,8       |
| Фонтан<br>Fontan                | 10   | 24                           | 16                 | 4   | 1,9   | 780   | 92   | 68,6  | 488                          | 57                         | 18                             | 173,8                                     | 20,0       |
| Великан<br>Velikan              | 140  | 1090                         | 320                | 1–2   | 2,2   | 831   | 154  | 76,5  | 572                          | 55                         | 23                             | 236,2                                     | 18,2       |
| Жемчужный<br>Zhemchuzhnyi       | 150  | 340                          | 240                | 4   | 2,4   | 868   | 154  | 79  | 600                          | 51                         | 22                             | 291,2                                     | 26,1       |
| Горизонтальный<br>Gorizontalnyi | 90   | 111                          | 100                | 0,5   | 2,1   | 809   | 131  | 64  | 541                          | 57                         | 19                             | 228,8                                     | 19,8       |
| Розовый Конус<br>Rozovui Konus  | 14   | 16                           | 15                 | 0,5   | 1,9   | 702   | 106  | 69,6  | 482                          | 36                         | 18                             | 223,1                                     | 17,7       |
| Бурлящий<br>Buryashchii         | 10   | 20                           | 15                 | 2–5   | 1,4   | 486   | 115  | 54,6  | 345                          | 20                         | 23                             | 173,8                                     | 13,1       |
| Восьмерка<br>Vosmeorka          | 8  | 68                           | 37                 | 0,7   | 1,9   | 702   | 144  | 63,3  | 482                          | 29                         | 30                             | 238,1                                     | 21         |

ной водой видно по изменению химического состава воды гейзера. В момент прохождения циклона «Эльза», сопровождаемого высоким подъемом уровня реки, оно достигало 40 %.

Выпадающие осадки оказывают как косвенное воздействие на режим гейзеров, влияя на подъем уровня реки и грунтовых вод, так и прямое в период сильных дождей. Образующиеся при этом временные водотоки доставляют холодную воду к выходному отверстию канала гейзеров, удлиняя кипение и, следовательно, продолжительность цикла их работы. Влияние температуры воздуха обычно затушевывается более сильным воздействием других гидрометеорологических факторов. Можно только заметить, что для гейзеров Великана и Большого значительное снижение температуры, усиливающее испарение с приустьевых ванн, приводит к увеличению периодичности.

В реальной обстановке, как уже отмечалось выше, гидрометеорологические факторы действуют одновременно, и поэтому в разные моменты времени влияние на режим гейзеров одного и того же гидрометеорологического фактора не бывает одинаковым, даже при одинаковой его абсолютной величине. Видимо, заметные изменения режима того или иного гейзера происходят под воздействием преобладающего в данный момент гидрометеорологического фактора. Общий же эффект воздействия достигается комплексом факторов с разной долей участия каждого. Комбинации могут быть многочисленными и редко повторяемыми, соответственно различны и изменения режима.

В ходе исследований была подмечена определенная связь режима гейзеров с землетрясениями, в частности тенденция к уменьшению их периодичности перед сейсмическими событиями. Напомним, что впервые такую реакцию поведения гейзеров на землетрясения описал американский исследователь И. Ринехарт. Можно надеяться, что наблюдения за режимом гейзеров Долины гейзеров в будущем помогут найти необычные предвестники сильных землетрясений на Камчатке, которые могут быть использованы для их предсказания.

Несмотря на выше отмеченные кратковременные, иногда довольно значительные, отклонения в режиме гейзеров, вызванные воздействием внешних (гидрометеорологических) факторов, их режим в многолетнем периоде наблюдений остается относительно постоянным. Это заключается, прежде всего, в практически неизменных периодичности и химическом составе воды. Для подтверждения сказанного приводим таблицу данных о продолжительности циклов гейзеров за многолетний период, включая эпизодические измерения 1941–1969 гг. (табл. 5).

В таблицу для сравнения включены сведения о продолжительности циклов гейзеров, зафиксированных в одинаковых по метеобстановке условиях, в данном случае в августе или в близкие к нему дни. Как видно из таблицы, периодичность только двух гейзеров (Великана и Первенца) значительно изменилась за это время. Причем цикл Великана изменялся постепенно, увеличившись с 2,5–3 до 5,5–6,5 ч, в то время как изменение

режима Первенца было более «капризным». В 1960 г. продолжительность цикла составила 2,5 ч (в 1941–1945 гг. – около часа), в 1961 г. гейзер работал как пульсирующий источник, а в последующие годы цикл гейзера почти сравнялся с продолжительностью, отмеченной Т. И. Устиновой (50–60 мин). Признаки «неустойчивости» режима наблюдались также у гейзера Большого.

Хотя приведенные в таблице данные различны по числу наблюдений, в целом они отражают общее поведение гейзеров в названный отрезок времени. Оно позволяет сделать вывод о том, что режим исследованных гейзеров за многолетний (более чем 50-летний) период не претерпел существенных изменений. Заметим также, что за этот же период общая разгрузка термальной воды, то есть ее количество, выходящее по трещинам на поверхность, практически оставалась постоянной. Этот расход термальной воды определялся так называемым гидрохимическим методом (о нем упоминалось выше) один-два раза в год, начиная с 1962 г. Соответственно, не изменилась и тепловая мощность гидротермальной системы. Это и постоянство химического состава воды гейзеров может косвенно свидетельствовать о неизменности температуры воды на глубине. То есть все говорит о постоянстве основных показателей гидротермальной системы (в том числе относительное постоянство режима гейзеров). Очевидно, слишком мал период наших наблюдений в масштабе геологического времени, чтобы заметить возможные в принципе существенные изменения гидротермальной деятельности. Вместе с тем, в этот же период видимые изменения произошли в поверхностной гидротермальной активности.

### ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Все отмеченные изменения были обусловлены внешними, прямо не связанными с функционированием гидротермальной системы причинами. Самое большое воздействие оказал мощный циклон «Эльза», пронесшийся над Камчаткой 4–6 октября 1981 г. По данным ГМС Петропавловска и Семьячика, в те дни сила ветра достигала 40 м/с, а сумма осадков – 92 мм. Выпавшие осадки привели к подъему уровня в реке на 2,5 м и выше. Расход реки (по расчету) достигал 20–25 м<sup>3</sup>/с, то есть увеличился примерно в 10 раз по сравнению с обычным для этого времени года. Река несла глыбы пород размером более 1 м в поперечнике. Она размывала берега, образуя крутые обрывистые склоны с одной стороны и отмели – с другой. Наибольшим эродирующим действием разбушевавшийся поток обладал в местах резких поворотов реки и увеличенных уклонов русла. Были срезаны уступы в самом русле реки, создававшие небольшие водопады близ площадки гейзера Великана.

В результате произошел врез русла на 3,5 м, оно расширилось, а продольный профиль заметно сгладился. (Естественно, уменьшилась скорость течения.) Была разрушена нижняя часть постройки пульсирующего источника Малахитовый Грот, а на участке гей-

Таблица 5. Продолжительность циклов действия гейзеров в многолетнем периоде наблюдений

| Гейзеры<br>Geysers              | Продолжительность циклов (в минутах) в августе за различные годы<br>Cycle duration (minutes) in August of different years |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                 | 1941  | 1945 | 1951 | 1960 | 1961 | 1969 | 1970 | 1972 | 1974 | 1975 | 1976 | 1978 | 1980 | 1982 | 1985 | 1986 | 1988 | 1990 | 1993 |
| Первенец<br>Pervenets           | 46  | 65   | 138  | 150  | –    | 12   | 14   | 12   | 11   | 12   | 16   | 24   | 30   | 57   | 77   | 64   | –    | 50   | 57   |
| Тройной<br>Troinoy              | –   | 153  | 145  | 145  | 150  | 169  | 150  | 145  | 148  | 145  | 162  | 175  | 177  | 170  | 140  | 154  | –    | 144  | 154  |
| Конус<br>Konus                  | –   | 20   | 18   | 22   | 24   | 22   | 22   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 24   | 24   | 26   | 26   | 26   | 28   | 22   |
| Малый<br>Malyy                  | 32  | 32   | 31   | 32   | 33   | 33   | 36   | 36   | 36   | 34   | 33   | 35   | 37   | 37   | 38   | –    | 39   | 38   | 40   |
| Большой<br>Bolshoy              | 107   | 97   | 87   | 88   | 87   | 74   | 99   | 92   | 115  | 111  | 124  | 142  | 134  | 95   | 83   | 85   | 86   | 85   | 120  |
| Щель<br>Shchel                  | –   | 38   | 35   | 37   | 33   | –    | 37   | 37   | 36   | 38   | 35   | 39   | 37   | 37   | 36   | 37   | 36   | 36   | 36   |
| Фонтан<br>Fontan                | 16  | 16   | 23   | 16   | 21   | 17   | 13   | 15   | –    | –    | 17   | –    | 18   | –    | –    | –    | –    | 17   | –    |
| Великан<br>Velikan              | 172   | –    | 190  | 253  | 278  | 306  | 320  | 292  | 297  | 298  | 306  | 345  | 281  | 297  | 312  | 291  | 329  | 320  | 411  |
| Жемчужный<br>Zhemchuzhnyy       | –   | 328  | 264  | 260  | 268  | 254  | 272  | 264  | 249  | 259  | 265  | 293  | 232  | 244  | 218  | 219  | 212  | 190  | 211  |
| Горизонтальный<br>Gorizontalnyy | –   | –    | 98   | 93   | 95   | 96   | 96   | 93   | –    | –    | 93   | 111  | 94   | –    | –    | –    | –    | –    | 98   |

Примечание: Данные за 1941, 1945, 1951 гг. – Т. И. Устиновой; за 1960 г. – А. А. Райк; за 1961 г. – В. И. Виноградова; за остальные годы – Н. Г. Сугрובהй, В. М. Сугрובהй.

зеров Большого и Малого срезаны нижние приустьевые части гейзеритовых натек. Значительно изменилось русло близ гейзеров Конус и Большая Печка. Оно сузилось. Нижняя часть склона у гейзера Конуса была обрывистой. В настоящее время берег здесь расширился на несколько метров, образуя пологий склон с крупногалечниковой отмелью. Бурная река заливала гейзеры, расположенные близко к урезу реки, выходное же отверстие гейзера Большая Печка было забито гравийно-галечниковым материалом настолько, что после циклона он прекратил свою деятельность. По этой же причине не работал источник Многоструйный, возродившийся в измененном виде 2 года спустя. Стекавшая по склонам вода заливала ванну гейзера Великана, а его гейзеритовая площадка была усеяна мелкими обломками пород, кусками дерна, глиной, снесенных временными водотоками. С крутого склона на площадку обрушилась вырванная с корнем береза.

Циклон оказал и непосредственное воздействие на режим гейзеров, и более всего оно коснулось, как и следовало ожидать, Великана и Первенца. У Великана до циклона средняя величина продолжительности цикла составляла 5–5,5 ч. Во время действия циклона (по свидетельству наблюдателя В. Н. Нечаева), со 2 по 5 октября гейзер, будучи залитым холодными водами ручьев со склонов, не работал. В первые дни после циклона гейзер Великан стал фонтанировать через 3,5–4,5 ч. Для гейзера Первенца было зафиксировано увеличение цикла деятельности от средней, равной 30 мин, до 1 ч 5 мин. Непосредственной причиной изменения режима этих гейзеров, вероятно, явилось попадание в каналы грунтовой слабоминерализованной воды и вод поверхностного стока. На это указывают химические анализы проб воды гейзеров, взятые за две недели до циклона и через неделю после его прохождения. Например, в воде гейзера Первенца концентрация хлора уменьшилась с 415 до 280 мг/л. Доля разбавляющей холодной воды составила (по расчету) – 30 % для Первенца и 5 % для Великана. В поведении других гейзеров наблюдалась тенденция в сторону уменьшения продолжительности цикла. Наблюдения в летние месяцы следующего после циклона года показали, что режим большинства гейзеров (в том числе и химический состав воды) восстановился. Сохранил удлиненный цикл один лишь гейзер Первенец. Не возобновил своей деятельности гейзер Большая Печка. В целом, как видно, собственно режим гейзеров изменился мало и только на короткий период прохождения циклона.

Циклон «Эльза» подчеркнул еще одно следствие гидротермальной деятельности,

влияющей на состояние Долины гейзеров, а точнее – на изменение рельефа поверхности – образование оползней. В местах выхода пара твердые (скальные) горные породы постепенно под воздействием кислых растворов, образующихся при конденсации пара и растворения газов, превращаются в относительно мягкие глины. Глины легко размываются водами поверхностного стока. На таких участках образуются выположенные площадки, рельеф изменяется. На крутых склонах этот процесс идет более интенсивно за счет оползневых явлений, развитие которых связано с увлажнением глин при выпадении атмосферных осадков и снеготаянии. Дополнительным фактором образования оползней в весеннее время в условиях Долины является нагрузка на глинистую массу многометровых снежников. В циклонический же период сильные дожди переувлажняют глинистое тело будущего оползня, нагружая дополнительным весом воды. В результате – усиление срывов и оползней больших масс пород на склонах долины во время циклона. Один такой оползень произошел на левом склоне р. Гейзерной, в 300 м от источника Малахитовый Грот, на высоте 80 м от реки. Он был приурочен к местам развития измененных пород и парящих участков. Глубина отрыва тела оползня достигала 6, ширина 4,5 м. Развитие оползней в условиях непрерывного процесса гидротермального изменения скальных горных пород, превращающих их в глины, переувлажнения при таянии снега и интенсивных осадков, дополнительной нагрузки на глинистый массив снежников и массы жидких осадков существенно влияют на рельефообразование.

Неслучайно заметные изменения поверхности наблюдаются на участках распространения глин и выходов пара в виде отдельных струй или площадного парения. К таким участкам привязаны и расширенные части долины Гейзерной и ее притоков, например, долины руч. Водопадного и Щелевого. Там же, где гидротермальная активность проявляется в виде горячих и кипящих источников, участки склонов и берега реки и ручьев, наоборот, более устойчивы, так как укреплены обломками и глыбами горных пород, сцементированных осадками горячих кремнийсодержащих вод. Примером подобного рода участков являются описанные выше «стенки карликовых гейзеров».

К наиболее существенным переменам в районе Долины гейзеров за наблюдаемый период относятся также исчезновение Бурлящего котла и руч. Горячего на Верхне-Гейзерном поле и обрушение здесь части обрывистого склона. Материал обрушения, глыбы пород различного размера усеяли поверхность термального поля, заметно нарушив вид поверхностных термопроявлений. Поскольку это произошло после серии ощутимых сейсмических толчков (в 1986 г.), наблюдавшая первая результаты произошедшего научный сотрудник Института вулканологии О. Ф. Карданова справедливо называет причиной обвала сильное землетрясение. В этот же период исчез Бурлящий котел. Вероятнее всего, причина та же – сейсмические толчки, следствием которых явилась перестройка (сжатие) подводящей трещины или системы трещин. Практически пере-

стал существовать также руч. Горячий, питавшийся преимущественно водой Бурлящего котла. Можно заключить, оценивая в целом рассмотренные изменения гидротермальной деятельности, что циклонические воздействия, повторяемые неоднократно в течение длительного периода, а также сильные землетрясения оказывают существенное влияние на изменение ландшафта Долины гейзеров, в частности на изменения поверхностной гидротермальной активности.

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ГЕЙЗЕРОВ

Существование и развитие гейзеров, как следует из предыдущего изложения, связано с развитием гидротермальной деятельности в пределах высокотемпературных гидротермальных систем. Формирование Гейзерной системы, с которой связаны гейзеры Долины, началось около 10 тыс. лет назад после последнего оледенения. Очевидно, в течение всего или части этого периода развивалась и поверхностная гидротермальная активность, проявления конкретных видов которой определенно установить трудно. Можно предположить, что вначале термопроявления были представлены газопаровыми струями и затем, по мере вскрытия р. Гейзерной перекрывающих геотермальный резервуар отложений, пьезометрический уровень термальных вод превысил дневную поверхность, и появились условия для образования источников и гейзеров. То есть гейзеры, скорее всего, могли появиться на самом близком к настоящему времени этапе существования гидротермальной системы. Хотя теоретически источники и гейзеры могли возникнуть, по-видимому, на любом этапе ее становления.

Прямых данных, определяющих возраст, продолжительность жизни гейзеров, конечно, нет. В. В. Аверьев подошел к оценке времени существования гейзера Великана, опираясь на скорость роста гейзерита. Толщина слоистой гейзеритовой корки на площадке Великана достигла 10 см. Из предположения, что каждый слой так же, как и зафиксированный современный, толщиной 0,1 мм, создавался за один год, легко определяется время образования корки в 1 000 лет. Следовательно, гейзер Великан или его предшественник могли возникнуть приблизительно 1 000 лет тому назад. Такой же возрастной порядок для гейзера Тройного приводит Г. А. Карпов, описывая гейзериты на страницах этого путеводителя. Полученная оценка времени непрерывной работы гейзеров подтверждается в какой-то мере малой изменчивостью состояния и режима гейзеров Долины гейзеров за почти 60-летний период наблюдений.

К сожалению, мало сведений о продолжительности деятельности гейзеров и в других регионах их существования. Самое раннее упоминание (1294 г.) о гейзерах относится к Исландии, где впервые было отмечено извержение гейзера, который дал имя всем другим гейзерам мира – Geysir. Он действует и ныне, то есть 700 лет. Знаменитые гейзеры Йеллоустона в США и Новой Зеландии существуют не менее 150 лет, о чем

свидетельствуют их первые описания в середине XIX в. Правда, в одном из мест современной гидротермальной активности Новой Зеландии – Оракейкорако по легендам коренных жителей, маори, горячие источники (гейзеры?) были уже в 1600 г., то есть возраст их никак не меньше 400 лет. На Камчатке деятельность кипящих источников и гейзеров документально зафиксирована в долине р. Паужетки 260 лет тому назад С. П. Крашенинниковым.

Таким образом, если принять во внимание прямые и косвенные данные о длительности существования гейзеров, то становится очевидным, что они могут функционировать в течение первых сотен лет и, предположительно, – на протяжении 2–3 тысячелетий. Разумеется, это относится к продолжительности деятельности гейзеров вообще. Индивидуальные гейзеры рождаются и живут в значительно меньшем временном интервале. Это и понятно, так как в более короткий период времени изменяются внешние условия, влияющие на работу гейзеров, по сравнению с основными показателями гидротермальной деятельности в целом, о чем говорилось выше. Речь идет, прежде всего, об изменении условий выхода термальной воды, то есть геометрии канала и выходного отверстия, морфологии и расположении канала гейзера в трещиноватой среде. Они во многом определяют возможность попадания в систему гейзера холодной грунтовой и поверхностной воды или охлажденной извергнутой воды самого гейзера. Могут повлиять на эти условия и землетрясения.

Есть замечательные примеры поведения индивидуальных гейзеров по данным наблюдений в других странах, в которых действуют гейзеры. Самым коротким по времени существования из известных гейзеров был великий Ваймангу в Новой Зеландии. Он возник в 1900 г. и действовал всего 4 года. Гейзер прекратил свою деятельность из-за резкого падения уровня воды в близрасположенном озере. Примечательно, что исчезновение этого гейзера не было окончанием гейзерной активности как таковой. До сих пор здесь работают 2–3 небольших гейзера. Другой новозеландский гейзер Тетарета вместе с двумя красивейшими гейзеритовыми террасами был полностью засыпан при извержении вулкана Таравера в 1886 г. Но даже извержение вулкана не смогло остановить гидротермальную деятельность: спустя некоторое время на месте террас и гейзера появились на поверхности новые термопроявления. Описан случай активизации гейзерной деятельности и даже образование нового гейзера (Seismic – сейсмического) на гейзерном поле Верхний бассейн Йеллоустонского национального парка в результате сильного землетрясения 1959 г., эпицентр которого находился вблизи западной границы парка.

Следует особо отметить исчезновение гейзеров под влиянием искусственных факторов. Так, извлечение большого объема высокотемпературной воды из геотермальных скважин, пробуренных в последние годы вблизи гейзерных полей для работы геотермальных электростанций, существенно понижает пьезометрический уровень водоносного пласта. В ре-

зультате горячие подземные воды не могут подняться на поверхность, чтобы образовать источники и гейзеры. В большинстве случаев при этом исчезают и другие виды поверхностной гидротермальной активности. Например, в районе Паужетских кипящих источников на Камчатке работа геотермальной электростанции стала причиной исчезновения небольших гейзеров, кипящих источников и прочих термопроявлений, некогда украшавших Паужетское термальное поле. Подобное наблюдалось на термальных полях Новой Зеландии и Исландии. В Новой Зеландии, на упомянутом выше гейзерном поле Оракейкорако, большинство гейзеров были просто затоплены, оказавшись под водой водохранилища, возникшего после строительства плотины на р. Вайкато.

И все же, на наш взгляд, большинство индивидуальных гейзеров появляются, преобразуются или исчезают не в силу рассмотренных выше исключительных, естественных или искусственных причин, но вследствие изменений морфологии выходов воды в точке гейзера и изменений канала. При этом велика роль самого гейзера, который разрабатывает или «залечивает» канал и систему подводящих трещин. Увидеть такого рода преобразования можно только в ходе длительных систематических наблюдений за деятельностью конкретных гейзеров. К сожалению, их мало и, соответственно, скудны зафиксированные примеры изменений гейзерной активности.

В Долине гейзеров, где период систематических наблюдений невелик, были замечены случаи перехода кипящих источников в гейзерный режим работы и наоборот. 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 поверхностного стока. Достаточно было появиться небольшой щели для стока воды, как вновь получился источник с гейзерным режимом. В данном случае причиной исчезновения, а затем появления гейзера стало изменение перепада давления в канале, вызванного изменением морфологии места разгрузки. Произошел также переход кипящих источников Парящего и Аверьевского в гейзерный режим работы. В 1987 г. было отмечено появление нового гейзера на VII, Лагерном, участке вблизи Голубого озера (гейзер Котлы). Намечившаяся на Центральном участке Долины гейзеров тенденция к переходу в гейзерный режим ряда постоянно действующих источников и появление нового гейзера связаны с развитием трещиноватости, расширением каналов гейзеров и, возможно, со снижением отметки напорного уровня термального комплекса вследствие углубившегося здесь вреза реки. Косвенно это подтверждает и упоминавшееся ранее увеличение периодичности гейзера Великан.

Превращение гейзеров в кипящие водные котлы или их исчезновение в результате закрытия трещин затвердевшими кремнистыми отложениями описано для гейзерных полей Исландии, Новой Зеландии и Йел-

лоустонского национального парка в США. В Долине гейзеров такое «самозалечивание» трещин и каналов небольших гейзеров отложениями кремнезема и, вследствие этого, их исчезновение прекрасно видно на участках «карликовых гейзеров». Зафиксированных фактов такого преобразования гейзеров и кипящих источников, к сожалению, мало, так как многочисленные мелкие термопроявления зачастую оказывались вне поля зрения исследователей. Вполне вероятно, что в Долине гейзеров имеющиеся воронки (котлы) округлой формы, заполненные водой хлоридно-натриевого (гейзерного) состава с температурой, близкой к точке кипения, не что иное, как бывшие большие гейзеры. К ним, видимо, относятся изометричной формы водный котел (Круглый) напротив пульсирующих источников в ямах и котел Голубой.

Итак, возвращаясь к продолжительности жизни гейзеров, можно с определенными допущениями говорить об относительной кратковременности действия отдельных гейзеров и изменения их режима в пределах сотен и десятков лет и о более длительном существовании гейзерного поля (сотни лет и первые тысячи лет). Индивидуальные гейзеры существуют более короткое время, потому что на их деятельность влияет больше разнообразных внешних факторов, к числу которых относится и «саморазрушающее» действие самого гейзера, увеличивающего или уменьшающего сечение и изменяющего форму канала. Разумеется, определить время преобразования или исчезновения конкретных гейзеров невозможно. Можно лишь предположить, основываясь на наших знаниях о гейзерах и вышеприведенных скупых данных о продолжительности их жизни, что гейзеры в Долине гейзеров, вероятно, будут действовать в течение ближайших сотен лет. Что же касается индивидуальных гейзеров, то их преобразование или даже исчезновение возможно и в текущем столетии. Как это ни печально, в ряду крупных

гейзеров Долины гейзеров, вероятность исчезновения которых велика, стоят первыми Великан и Грот. Дело в том, что Великан, имея небольшой средний расход и большую поверхность ванны в верхней части канала, практически достиг баланса между привносимой из недр системы энергией и ее потерей в результате извержения, испарения воды и теплоотдачи через стенки канала. Дальнейшее незначительное расширение ванны и канала и возможное к тому же уменьшение притока высокотемпературной воды за счет снижения пьезометрического уровня может привести к необратимому преобразованию гейзера вначале в пульсирующий источник и затем – в водный котел. У гейзера Грот – сходное состояние, но в отличие от Великана он более защищен стенами пещеры от интенсивного испарения с поверхности бассейна-ванны и, кроме того, характеризуется большим средним секундным расходом. Зато Грот, располагаясь гипсометрически выше Великана, находится как бы на пределе возможного подъема высокотемпературной воды на поверхность, что, конечно, ослабляет действие гейзера.

Уже после написания основных разделов данного очерка 3 июня 2007 г. произошло обрушение-оползень на левом склоне долины р. Гейзерной в верховьях руч. Водопадного. Это событие показало, что наряду с описанными выше эволюционными изменениями поверхностной гидротермальной активности, вызванной в том числе оползневыми процессами, периодически могут происходить гигантские рельефообразующие оползни, практически мгновенно меняющие ландшафт и поверхностную гидротермальную деятельность, включая исчезновение или появление новых гейзеров и источников или изменение режима существующих.

Ниже приводится описание произошедшей природной катастрофы в Долине гейзеров и ее последствия.

## Катастрофа, произошедшая в Долине гейзеров 3 июня 2007 г.

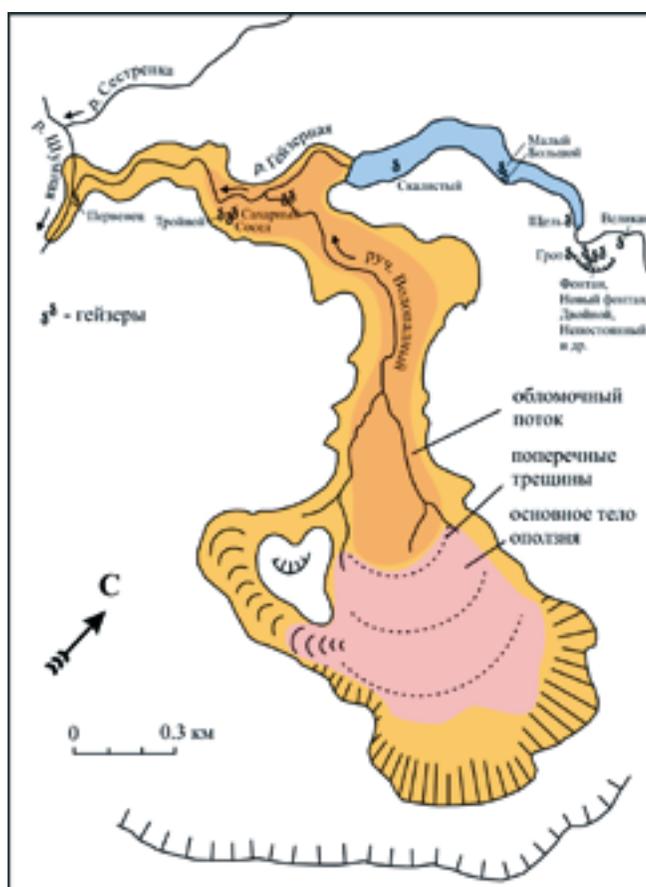
Мы привыкли считать нашу Землю твердой, неподвижной, но она живет, развивается, постоянно испытывает различные деформации, связанные как с внешними, космическими, так и с внутренними, преимущественно магматическими, причинами. Когда происходят какие-то катастрофы – землетрясения, извержения вулканов, крупные обвалы и оползни, подвижки ледников, особенно когда при этом гибнут люди, мы вспоминаем о том, что земная твердь может быть подвижной, опасной, но вскоре опять забываем об этом, успокаиваемся до следующей катастрофы.

### ОПОЛЗЕНЬ И УСЛОВИЯ ЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

3 июня 2007 г. в 14 ч 20 мин (время местное) в Долине гейзеров произошла природная катастрофа – в результате обрушения крутых склонов в верховьях руч. Водопадного, сползания и дробления крупных блоков пород был сформирован сложный оползень, сопровождавшийся грязекаменным потоком (рис. 9, 10).

Поток достиг р. Гейзерной и распространился далее вниз по ее долине до устья. В том месте, где руч. Водопадный впадал в р. Гейзерную, образовалась дамба, выше которой позже было сформировано протяженное подпрудное озеро (фото 106). Под отложениями оползня оказались красивейшие места: водопады, ванны, постройки гейзеров. Только случайное стечение обстоятельств не привело к гибели людей. Не пострадали от оползня и домики в Долине гейзеров – каменная стена остановилась буквально в 1 м от стены гостиницы! Люди не пострадали – и это главное.

Процесс обрушения склона начался как обычный оползень скольжения, выражающийся в смещении блока горных пород на более низкий гипсометричес-



*Рис. 9. Схема и плановый аэрофотоснимок оползня, образовавшегося 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров на Камчатке. На схеме видны основные элементы строения оползня, более темным цветом выделена его центральная часть, где мощность отложений была максимальной и достигала 60 м. Фото Я. Д. Муравьева (ИВиС ДВО РАН)*

кий уровень. В первую фазу обрушения произошло образование обломочного грязекаменного потока, преимущественно сформированного за счет оттаявших грубообломочных склоновых отложений и толстого снежного покрова. Попав в долину руч. Водопадного, раздробленная и сильно обводненная масса пород образовала типичный селевый поток из смеси воды, снега, глыб и более мелких разноразмерных обломков (см. Пинегина, Делемень, Дрознин и др., 2007). Поток двигался со скоростью до 35–40 км/ч, по пути вырывая с корнями деревья и кусты. Его фронтальная часть достигла места впадения ручья в р. Гейзерную, где началось формирование плотины, перегородившей долину этой реки. Во вторую фазу одновременно со сходом грязекаменного потока в течение 2,5 мин происходило дальнейшее обрушение уступов приводораздельной части долины реки в верховьях руч. Водопадного. Обломочная лавина второй фазы (уже практически «сухая»), перемещаясь по поверхности отложений первой фазы, устремилась вниз по линии наибольшего уклона и остановилась всего в метре от домика, на абсолютной отметке около 500 м (фото 107). В заключительную, третью, фазу обрушения произошел обвал, лавина которого из-за меньшей высоты склонов и ставшей более пологой подстилающей поверхности распространилась не по всей площади обломочной лавины второй фазы.

В результате произошедших событий в верховьях руч. Водопадного образовался открытый к северо-западу единый амфитеатр обрушения с вытянутой в северо-восточном направлении субвертикальной стенкой высотой около 150 м и протяженностью порядка 800 м. Оползень и обломочная лавина протянулись в западном, северо-западном направлении на расстояние более 1,7 км при ширине ареала распространения 0,2–0,4 км.

После схода лавины, приведшей к образованию плотины на р. Гейзерной, в течение четырех дней вода реки накапливалась перед плотиной, и, когда уровень подпрудного озера превысил её высоту, начался ча-



106. Долина руч. Водопадного, погребенного отложениями грязекаменного потока. 16 октября 2007 г.



107. Обломочная лавина второй фазы обрушения остановилась всего в метре от домика турбазы. Средняя часть оползня

стичный размыв плотины. Практически мгновенно река врезалась в тело плотины на 8–10 м; за 4 ч уровень озера понизился на 9 м. Вынесенный материал отложился по всему течению р. Шумной. Максимальная глубина озера оказалась 20 м.

По размеру оползень относится к гигантским – по подсчетам сотрудника Лаборатории геодезии и дистанционных методов исследования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН В. Н. Двигало, объем оползня составляет 20,7 млн м<sup>3</sup>. Это однозначно крупнейший оползень на Камчатке в исторический пе-



Рис. 10. Схема оползня, произошедшего 3 июня 2007 в Долине гейзеров на Камчатке (В. Л. Леонов, А. В. Леонов). Вид на восток. Стенка отрыва – желтая, тело оползня – коричневое, запрудное озеро – синее. Стрелками показано направление движения оползня и грязекаменного потока. В рамке основная группа гейзеров, не пострадавшая от оползня. Гейзеры: 1 – Первенец; 2–4 – Тройной, Сахарный, Сосед; 5 (затоплены озером) – У водопада, 6 – Скалистый, 7, 8 – Конус, Большая Печка; 9–18 – Малый, Большой, Щель, Грот, Новый Фонтан, Фонтан, Двойной, Непостоянный, Великан, Жемчужный

риод наблюдений и один из крупнейших, происходивших в историческое время в России.

Как и всегда при катастрофах, возникает вопрос, можно ли было предвидеть, предсказать такое развитие событий? Были ли предвестники этого? На формирование оползня в Долине гейзеров могли оказать влияние многие факторы. Исходя из полученных ранее данных по геологии и гидрогеологии района (Леонов и др., 1991), в качестве основных факторов, способствующих формированию оползня, нами рассматриваются:

- геологическая позиция – приуроченность к борту кальдеры, наличие вложенных в кальдеру и прислоненных к ее борту озерных отложений, залегающих с наклоном в сторону долины р. Гейзерной;

- особенность гидротермальной разгрузки – наличие расположенной восточнее области подъема термальных флюидов, а также латерального потока гидротерм, направленного с северо-востока на юго-запад в сторону р. Гейзерной;

- особенность разреза пород, в которых произошел оползень, – наличие водопроницаемых и водоупорных слоев;

- морфология склона – наличие крутых уступов, связанных с подмывом склонов ручьями;

- изменение пород под действием гидротермальной деятельности;

- тектонические трещины;

- возможное региональное искривление земной поверхности, связанное с вулканической деятельностью.

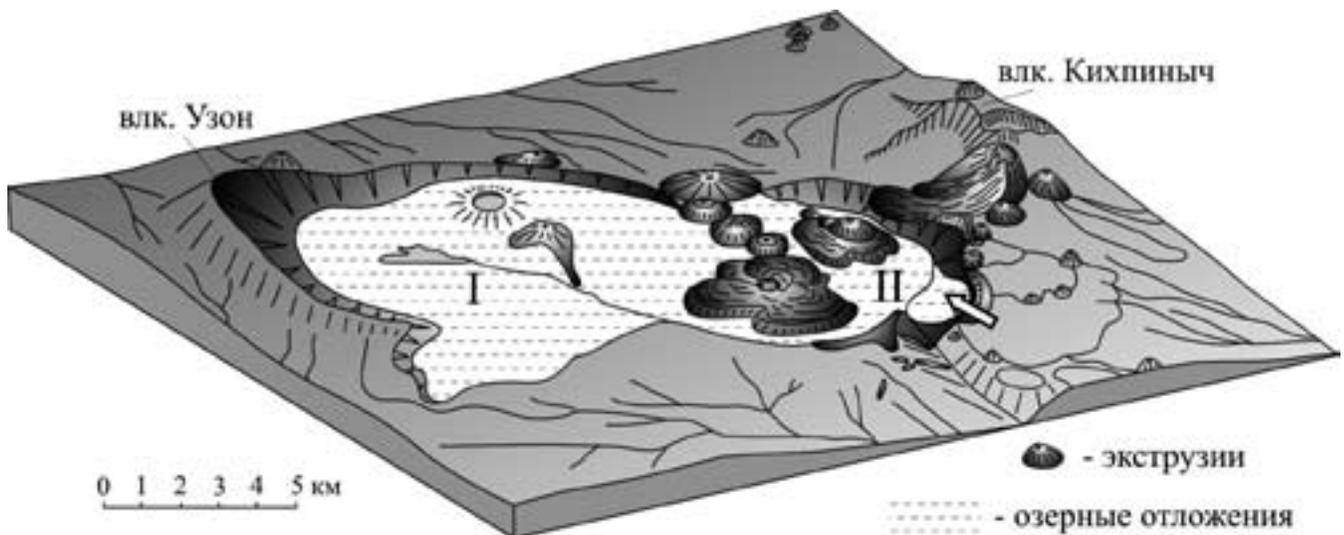
#### Геологические позиции.

##### Общее строение и морфология склона

Оползень произошел внутри Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии, вблизи ее восточного борта, подмываемого р. Гейзерной и ее притоком – руч. Водопадным (рис. 11).

Депрессия сформировалась около 40 тыс. лет назад и впоследствии была заполнена озерными отложениями

ее осуществляется в недрах сложного, расположенного северо-восточнее, массива вулкана Кихпиньч



**Рис. 11. Блок-диаграмма Узон-Гейзерной депрессии:**

I – кальдера Узон, II – Долина гейзеров. Стрелкой показано место, где 3 июня 2007 г. произошел оползень

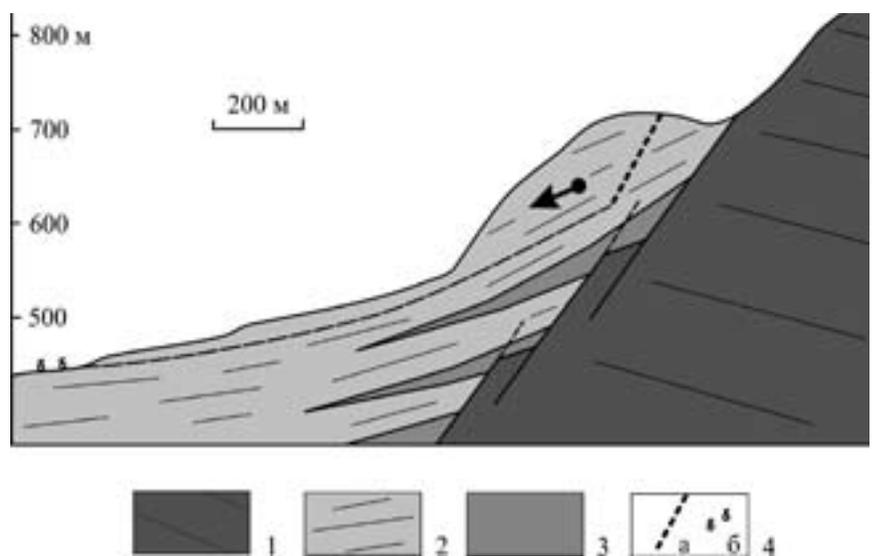
ми, мощность которых достигает 300 м. В начале голоцена, около 8–9 тыс. лет назад, озерная толща начала размываться. Наиболее глубокий врез в нее произошел около восточного борта, где местами озерные отложения были полностью смыты. Река, размывшая озерные отложения, вскрыла глубокие части их разреза, богатые линзами брекчий, конгломератов – к этим породам и приурочены многочисленные термальные источники и гейзеры.

Верховья руч. Водопадного – один из немногих участков в восточной части Узон-Гейзерной депрессии, где сохранились останцы верхней части толщи озерных отложений. При этом расположение, строение, залегание пород, слагающих их, – все это создает условия и делает благоприятным развитие оползней (см. рис. 3, 12).

Условия залегания озерных отложений в верховьях руч. Водопадного показаны на рис. 12. В разрезе чередуются массивные прочные породы и менее прочные, гидротермально-измененные. Переслаиваются водопроницаемые и водоупорные слои. Все это наряду с падением пород в сторону долины, наличием тектонических трещин, о которых будет сказано подробнее далее, – важные факторы оползнеобразования.

(см. рис. 11). По модели, которую предложили В. М. Сугробов и Н. Г. Сугрובה (Сугробов и др., 2004), от области теплового питания в сторону Долины гейзеров направлен поток термальных вод (см. рис. 4, размещен в вышеизложенных разделах).

Эту модель подтверждает термометрическая съемка, проведенная в Долине гейзеров (Леонов и др., 1991). Она показала, что большая часть термоаномалии расположена вдоль восточного борта р. Гейзерной, в том числе вдоль обрывов докальдерных лав, образующих восточный борт Узон-Гейзерной депрессии. В нижнем течении р. Гейзерной, где расположена Долина гейзеров, разгрузка термальных вод осуществляется из озерных отложений. В верховьях руч. Водопадного озерные отложения размывты, там



### Изменения пород, вызванные гидротермальной деятельностью

Особенность гидротермальной системы, очагом разгрузки которой является Долина гейзеров, заключается в том, что тепловое питание

**Рис. 12. Условия залегания озерных отложений, вскрытых на руч. Водопадном, и характер прислонения их к борту Узон-Гейзерной депрессии:**

1 – докальдерные отложения; 2–3 – отложения, заполняющие депрессию (2 – озерные, 3 – линзы брекчий); 4 – трещина, по которой произошел отрыв пород (а), термальные источники (б). Точка со стрелкой – центр тяжести крупного останца озерных отложений, подвижка которого привела к формированию оползня 3 июня 2007 г.

вскрываются лавы, слагающие борт Узон-Гейзерной депрессии, и повсеместно наблюдаются термальные площадки, источники. Это убедительно свидетельствует о том, что докальдерные лавы проницаемы для восходящего потока в недрах вулкана Кихпинич, а озерные отложения, прислоненные к лавам, – относительный водоупор. Проницаемыми для вод являются лишь отдельные слои грубообломочных отложений. При полевых работах в русле руч. Водопадного мы неоднократно отмечали выходы грунтовых вод с верхней границы слоя алевропелитовых туфов – эта граница была прослежена на большом расстоянии в верховьях ручья (см. рис. 12).

### Тектонические трещины

При образовании оползня 3 июня 2007 г. отрыв основного блока произошел по трещине, расположенной между горой, сложенной озерными отложениями, и бортом Узон-Гейзерной депрессии (см. рис. 12). Трещина эта сформировалась давно – она есть на аэрофотоснимках, сделанных еще в 1973 г. Трещина была нами обследована в 1974 г. Тогда она выглядела свежей, на ней были провальные воронки, свидетельствующие о недавней активизации движений, раскрытии трещины. В последующем края ее значительно сгладились, воронки были засыпаны. На фотоснимках 1984 и 1989 гг. трещина выглядит в виде рва, хотя и прямолинейного, но уже существенно сглаженного эрозией. Не исключено, что формирование описанной трещины было связано с процессами подготовки оползня, с тем, что гора, сползшая в 2007 г., еще 35 лет назад была обособлена и отчленена трещиной от остальной, более устойчивой части склона. Но наличие тектонических трещин на крутых склонах далеко не всегда приводит к оползням. Пример этого – верховья р. Гейзерной, где склоны над Верхне-Гейзерной группой паровых струй разбиты многочисленными крупными трещинами. Тем не менее, эта ситуация сохраняется уже не один десяток лет.

### Региональное искривление земной поверхности

В последние годы появляется все больше данных о значительных вертикальных подвижках в вулканических районах. Данные получают с помощью спутниковой интерферометрии. Наиболее впечатляющие данные сейчас получены для крупных кальдер, в частности, для кальдеры Йеллоустон. Подобный анализ был проведен недавно и для кальдеры Узон (Узон-Гейзерной депрессии). Подвижки были проанализированы за 1999–2004 гг. За этот период было установлено, что в восточной части Узон-Гейзерной депрессии в 2000–2003 гг. значительный участок испытывал поднятие (рис. 13). В то же время в 1999–2000 и в 2003–2004 гг. подобных поднятий обнаружено не было. Полученные данные показывают, что региональные искривления земной поверхности – это

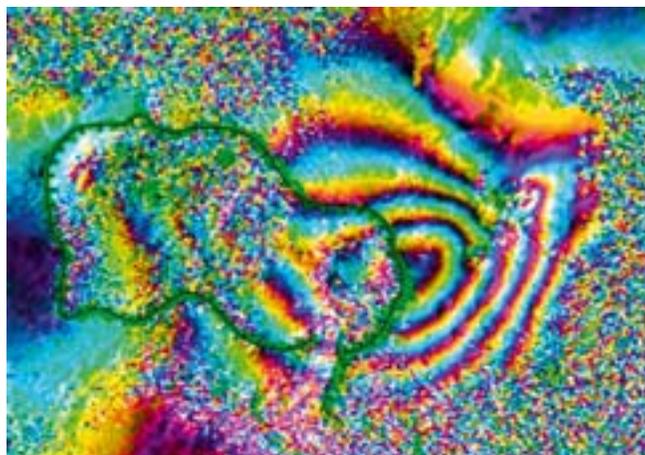


Рис. 13. Интерферограмма на район Узон-Гейзерной депрессии (границы депрессии показаны линией с бергштрихами) (по Lundgren, Lu, 2006):

концентрические круги, приуроченные к восточной части депрессии – район поднятия. Цикл окраски от светлого до темного показывает поднятие на 2,8 см. Общее поднятие восточного борта депрессии в 2000–2003 гг. составило около 15 см

реальный фактор, который может влиять на ослабленные склоны, способствовать развитию оползневых процессов.

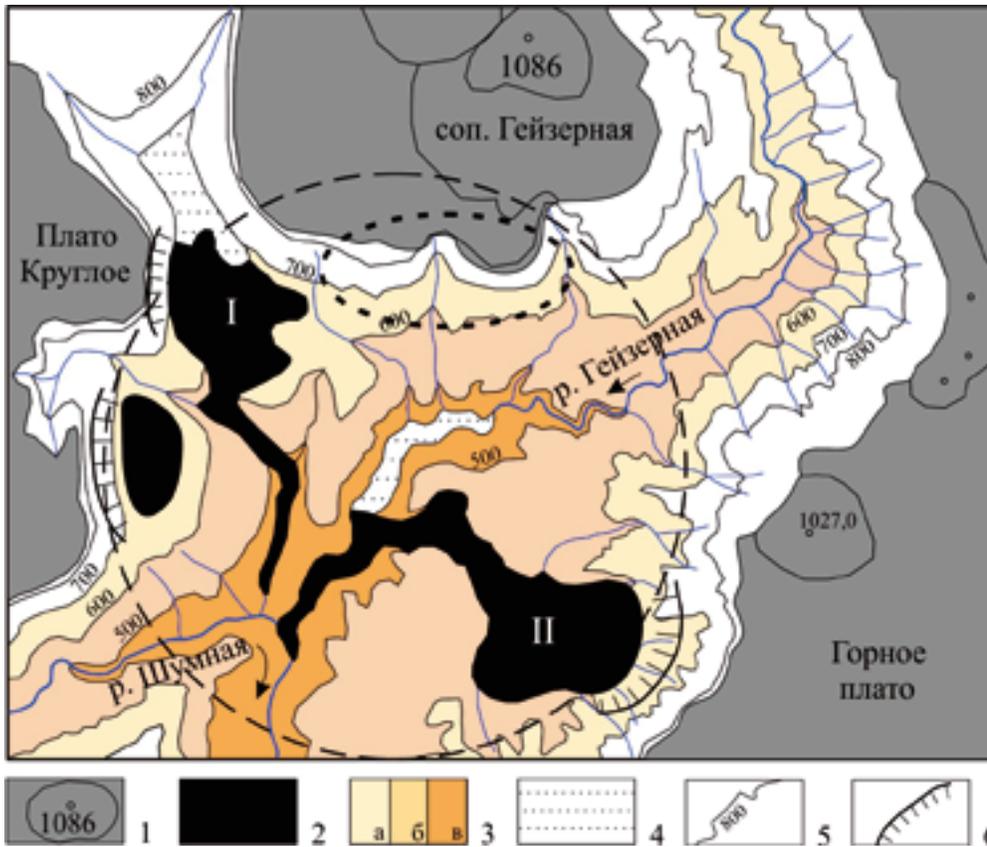
Были ли вертикальные подвижки в районе восточного борта Узон-Гейзерной депрессии в 2007 г., пока неизвестно. Не исключено, что данные спутниковой интерферометрии на район Узон-Гейзерной депрессии на время оползня (3 июня 2007 г.) будут получены в будущем.

### О возможности образования новых оползней в Долине гейзеров

Выше было показано, что существует множество факторов, способствовавших формированию оползня, произошедшего в Долине гейзеров. Случались здесь оползни и ранее – в начале голоцена на восточном склоне плато Круглого произошел оползень, который запрудил р. Сестренку и образовал озеро примерно такого же размера, как и озеро, сформировавшееся в 2007 г. на р. Гейзерной (рис. 14). Анализируя сегодняшнюю ситуацию в районе Долины гейзеров, можно сделать вывод, что самые крупные оползни здесь формируются в нижней части рек Гейзерной и Сестренки – там, где их долины имеют наибольшую глубину и крутизну склонов. Этот участок на рисунке очерчен круговым пунктиром. Возможны ли на этом участке новые оползни? Несомненно, вопрос в том – когда и где они произойдут?

Наибольшую оползневую опасность сегодня, с нашей точки зрения, имеют южные склоны сопки Гейзерной (обозначены пунктирным овалом, см. рис. 14). Именно на них сегодня необходимо проводить комплекс исследований, направленных на прогноз развития оползневых процессов.

Можно ли было предсказать оползень 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров и можно ли предсказать будущие оползни в этом районе? По нашему мнению, спрогно-



**Рис. 14. Схема оползней, сформировавшихся в нижнем течении рек Сестренки и Гейзерной:**  
 1 – высокие плато и экструзии, формирующие борта наиболее расчлененного участка; 2 – оползни (I – на р. Сестренке, II – на р. Гейзерной); 3 – участки с глубиной вреза: а – 200–300 м, б – 300–400 м, в – 400–500 м; 4 – озера (современное на р. Гейзерной и существовавшие в начале голоцена на р. Сестренке); 5 – изолинии; 6 – стенки отрыва произошедших в данном районе оползней. Пунктирный круг – место, где произошло наиболее глубокое врезание рек в толщу отложений, заполняющих Узон-Гейзерную депрессию. Пунктирный овал – место, где возможно формирование оползней в будущем

зировать точное место возникновения оползня 3 июня 2007 г. и тем более время его образования и объем было невозможно. Развитие оползневых процессов связано с множеством причин, роль которых не всегда ясна. То же самое можно сказать о будущих оползнях в этом районе. Даже наметив примерно место, где может произойти крупный оползень в будущем, что было сделано выше, мы сегодня не можем сказать, когда он произойдет, можем лишь приблизительно оценить его объем. Ясно одно – что оползневая опасность в этом районе очень высокая, и чтобы избежать бедствий в будущем, ее необходимо изучать.

**ПОСЛЕДСТВИЯ  
 ОПОЛЗНЯ**

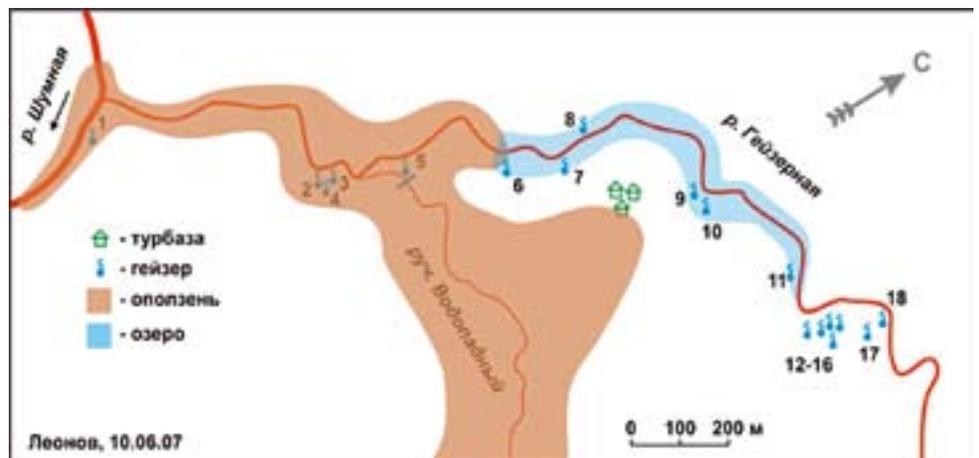
Геологическая катастрофа, произошедшая 3 июня 2007 г., существенно изменила облик Долины гейзеров. Отложениями гигантского оползня и грязекаменной лавины были погребены все источники на руч. Водопад-

ном. Средняя мощность отложений грязекаменной лавины – 26 м. Все термальные источники на руч. Водопадном оказались перекрытыми (их превышение над уровнем ручья было не более 5 м). Погребена или залита водой подпрудного озера значительная часть термопроявлений по р. Гейзерной (рис. 15).

Под отложениями грязекаменной лавины оказались полностью погребенными три термальных участка Гейзерного термального поля (I, II и III) и частично IV. Образовавшееся подпрудное озеро затопило не перекрытые лавиной термопроявления IV участка и практически все источники и гейзеры V и термопроявления VI участков, расположенные в прирусловой части р. Гейзерной (см. рис. 5, размещен в вышеизложенных разделах). Таким образом, завалены отложениями грязекаменной

лавины крупные гейзеры, описанные ещё Т. И. Устиновой, – *Первенец, Тройной, Сахарный, Сосед, У водопада* и небольшие гейзеры долины руч. Водопадного – *Малютка, Теремок, Плоский, Ворота в Гейзерную*.

Под водой оказались крупные гейзеры, также выделенные Т. И. Устиновой, – *Скалистый, Конус, Большая Печка, Большой, Малый, Щель*, источники *Каменка, Малая Печка, Малахитовый Грот* и небольшие гейзеры, описанные позднее, – *Недоступный, Бура-*



**Рис. 15. Схема нижней части оползня и образовавшегося запрудного озера:**  
 Гейзеры: 1 – Первенец; 2 – Тройной; 3 – Сахарный; 4 – Сосед; 5 – У водопада; 6 – Скалистый; 7 – Конус; 8 – Большая Печка; 9 – Малый; 10 – Большой; 11 – Щель; 12–16 – Витраж (Грот, Новый Фонтан, Фонтан, Двойной, Непостоянный); 17 – Великан; 18 – Жемчужный

тино, Пещерный, Гном, карликовые гейзеры (стенка Б. И. Пийна).

Гейзер *Малый* и источник *Малая Печка* вначале оказались под 25-метровой толщей воды, а гейзеры *Большой* и источник *Малахитовый Грот* – на глубине около 10 м.

После прорыва плотины 7 июня 2007 г. уровень озера понизился примерно на 9 м. В последующие месяцы уровень озера продолжал медленно понижаться за счет дальнейшего размыва плотины и уменьшения притока талых вод и достиг отметки 424 м. Температура воды в озере, напротив, постепенно росла (от 12,8 °С в июне до 23 °С в августе). По мере снижения уровня озера постепенно освободились из водяного плена и заработали кипящий источник *Малахитовый Грот* (23 июля 2007 г.) (фото 106) и гейзер *Большой* (1 сентября 2007 г.) (фото 107).

Когда уровень озера был еще примерно на 2 м выше ванны гейзера *Большого*, его активность проявлялась в виде расходящихся на поверхности кругов и выходом пузырьков газа. Температурные измерения свидетельствовали о наличии тепловой конвекции в ванне гейзера. Когда уровень озера сравнялся с краями ванны (но был выше минимальной точки слива на 10–15 см), гейзер заработал. В последнее время уровень озера практически стабилизировался, но периодически повышается при выпадении осадков. При этом период из-

вержений гейзера увеличивается с 1,5 до 2,5 ч. Характер извержений этого гейзера изменился. Извержения стали менее мощными, похожими на пробулькивание огромных паровых пузырей. По окончании извержения уровень воды в первоначально полной ванне резко падает, почти до дна, и ванна начинает заполняться водой озера

Гейзер *Малый*, судя по расходящимся кругам на поверхности озера (фото 108), как источник сохранил свою активность. По аналогии с гейзером *Большим* можно предполагать, что проявления на поверхности озера – это следствие не только выхода газа, но и свидетельство тепловой конвекции в верхней части подводного канала гейзера. Предположение о сохранении его «гейзерной» активности сомнительно, т. к. ранее пьезометрический уровень этого гейзера оценивался в несколько метров, а толща воды над ним в настоящее время – около 14 м. Гейзер *Малый* был самым продуктивным гейзером Долины; он извергал 8 т воды каждые 40 мин, чем превосходил даже гейзер *Великан* (20 т каждые 6 ч). Сравнительно большая частота извержений гейзера *Малого* позволяла увидеть это впечатляющее явление в каждой вертолётной экскурсии.

Гейзер *Щель* по мере подъема уровня озера был затоплен последним непосредственно перед прорывом плотины и находился под водой менее суток. Когда



106. Извержение гейзера *Малахитовый Грот*. 23 июля 2007 г.



© Дроздин В. А.

107. Извержение гейзера Большого. 12 сентября 2007 г.

уровень озера упал, он вновь возобновил свою деятельность. Сначала произошло 5 короткопериодных (15–20 мин.) извержений с предварительным изливом, а затем он стал извергаться в обычном своем режиме с периодом 33–34 мин без предварительного излива, что было характерно для него и раньше.

Полностью затопленный кипящий источник *Малахитовый Грот* сначала, когда уровень воды ещё не опустился ниже края его ванны, стал работать в режиме гейзера с периодом извержений 10–20 мин. Затем, когда его ванна полностью освободилась от вод озера, возобновил свою деятельность как кипящий пульсирующий источник. Конечно, узнать его трудно, т. к. вся нижняя часть его постройки скрыта наносами обломочного материала.

Гейзер *Первенец* был завален оползнем, но, судя по фотографиям пилотов «Камчатских авиалиний», остался активным. Завал изменил русло р. Шумной и гейзер оказался на острове. Частичный размыв плотины ещё раз завалил гейзер. Но оказалось, что не окончательно. Постепенно образовалась воронка, на дне которой действует кипящий источник. Разгрузка источника в р. Шумную сначала обозначалась лишь увлажнённым грунтом, но постепенно стала видимой. Возросла активность термальной площадки на правой стороне р. Шумной, напротив гейзера Первенца.

Весьма интересным для исследований представляется наблюдаемое взаимодействие термопроявлений



© Злотников В. А.

108. Гейзер Малый подаёт признаки жизни с глубины 14 метров. 16 июля 2007 г.

типа «парящий грунт» с водами подпружного озера. В результате такого взаимодействия образуются новые, кратковременно живущие источники (фото 109). Самый большой прибрежный источник (Двухпроводной) образовался вне видимой связи с термопроявлениями. Ранее в этом месте, расположенном выше гейзера Конуса, наблюдался крутой задернованный склон.

Не затронутыми катастрофой на Гейзерном поле оказались только гейзеры и источники VII (Центрального) участка и, естественно, все выше расположенные по долине р. Гейзерной термопроявления и участки поверхностной гидротермальной активности. В том числе самая знаменитая в Долине гейзеров термальная Площадка фонтанов (*Витраж*), крупные гейзеры, охарактеризованные Т. И. Устиновой, – *Гейзер в печке нижний (Гротик), Ванна, Фонтан, Новый Фонтан, Грот, Двойной, Непостоянный, Великан, Жемчужный, Восьмёрка*), а также гейзеры *Аверьевский, Парящий, Нижний Щелевой, Горизонтальный, Розовый Конус, Бурлящий, Верхний, Верхний в русле*. Режим этих гей-



© Злотников В. А.

109. Новый термальный источник вблизи уреза воды. 17 июля 2007 г.

зеров после прошедшего обрушения-оползня остался без изменений (фото 110).



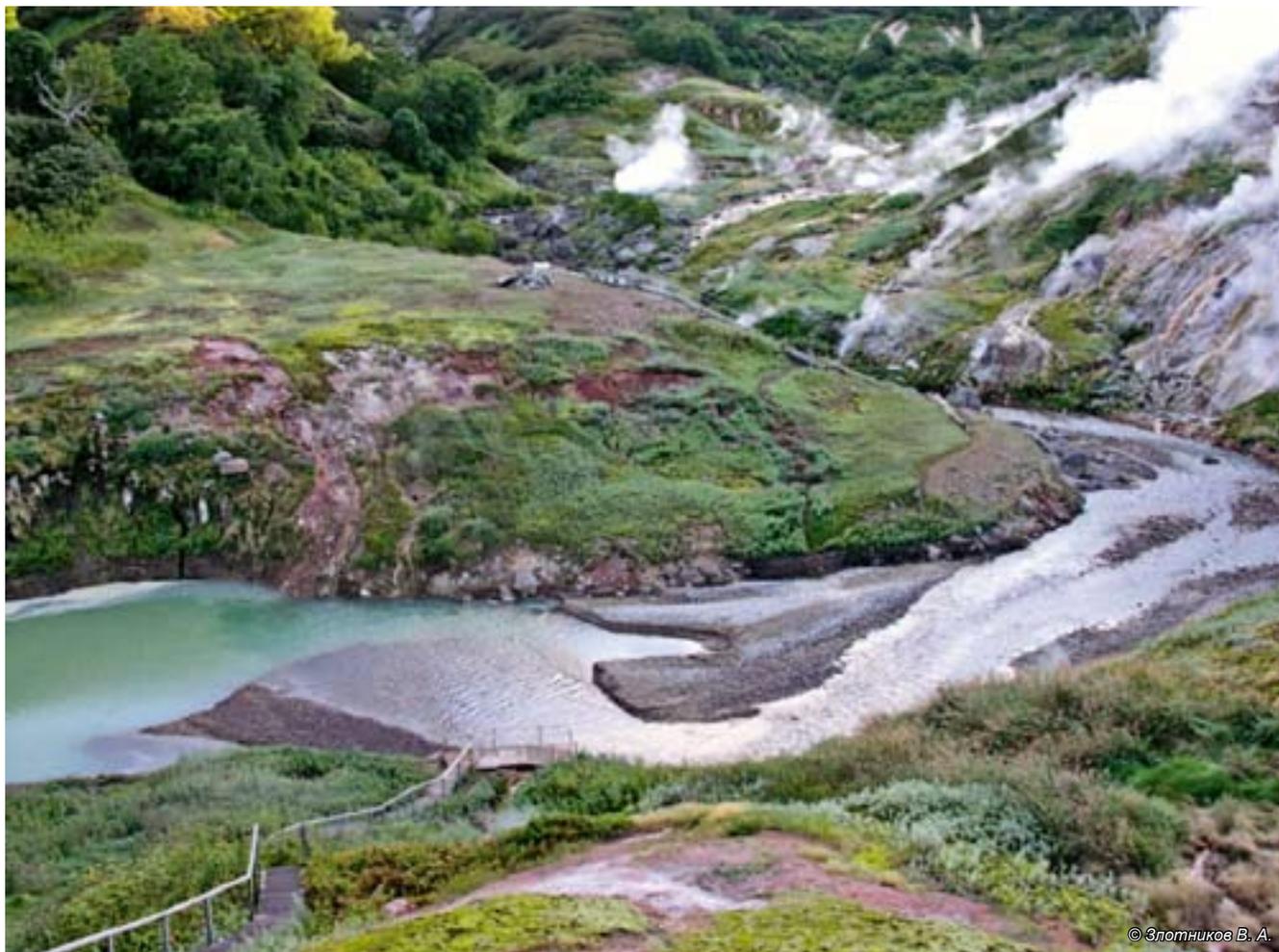
© Дроздин В. А.

110. Извержение гейзера Великана. На переднем плане запрудное озеро. 15 сентября 2007 г.

Несомненно, после событий 3 июня 2007 г., помимо наблюдений за деятельностью гейзеров и гидротермальной активностью в целом, большой интерес для ученых представляют наблюдения за постепенным восстановлением гидрологического режима руч. Водопадного, нарушенного гигантским оползнем и грязекаменной лавиной. Поверхностный сток этого ручья к настоящему времени уже представлен цепочкой явно связанных озер.

впадения реки в озеро стремительно, буквально на глазах, формируются аккумулятивные тела типа устьевых баров и кос (фото 111).

Идет интенсивное заполнение озера обломочным материалом, сокращение его объема и площади. Очевидно, что если уровень подпрудного озера существенно не понизится, на его месте со временем сформируется аккумулятивная аллювиальная равнина. Вопрос лишь в том, насколько быстро это случится и каким



© Злотников В. А.

111. Новое русло р. Гейзерной. 2 сентября 2007 г.

Особого внимания заслуживает изучение современного осадконакопления в Долине гейзеров, коренным образом изменившегося после образования подпрудного озера. Весь обломочный материал, ранее транзитом переносимый бурными водами р. Гейзерной, теперь осаждается в подпрудном озере. В месте

образом отразится на режиме гидротермальной системы Долины гейзеров.

Как видим, в результате произошедшей геологической катастрофы природа предоставила нам уникальную возможность наблюдать и изучать весьма широкий спектр современных геологических процессов.

## Вопросы изучения и охраны гейзеров – уникального явления природы

Необходимость дальнейшего изучения гейзеров, несмотря на полученные некоторые результаты, объясняющие их деятельность, нам представляется очевидной. Одним из основных методов исследования деятельности гейзеров являются систематические наблюдения за их режимом. Слежение (мониторинг) будет бессмысленным, во всяком случае малоэффективным, если естественное состояние гейзеров может изменяться от какого-либо вмешательства человека. Поэтому важно обеспечить сохранность гейзеров и в целом природного комплекса зоны их проявления. Разумеется, организация охраны гейзеров должна учитывать интересы туристов, число которых со временем вряд ли будет уменьшаться. Иными словами, нужен разумный компромисс при решении экологических проблем Долины гейзеров, обеспечивающий сохранность гейзеров, их изучение и активный туризм.

Среди вопросов, касающихся изучения Долины гейзеров, наиболее важным нам представляется продолжение систематических наблюдений за режимом основных гейзеров и гидротермальной деятельностью в целом. На основе данных наблюдений и измерения параметров конкретных гейзеров возможно выявление особенностей механизма действия каждого крупного гейзера. Это, в свою очередь, позволит в перспективе прогнозировать поведение гейзеров, в частности – абсолютное время и длительность извержения. Знание точного времени действия гейзера предоставит возможность всем посетителям при ограниченном времени пребывания среди гейзеров увидеть наиболее интересные и эффектные извержения. Например, гейзеры Великан, Большой, Горизонтальный расположены на некотором удалении друг от друга и извергаются не так часто, можно успеть без предупреждения полюбоваться каждым из них.

После схода гигантского оползня 3 июня 2007 г., приведшего к коренным изменениям ландшафта и поверхностной гидротермальной деятельности в долине р. Гейзерной, отмеченное выше систематическое изучение режима гейзеров должно быть дополнено комплексными исследованиями последствий этого события и потенциально опасных явлений, связанных с оползневыми процессами. В частности, необходимы

наблюдения за состоянием склонов с целью предотвращения схода новых обломочных лавин, за состоянием дамбы, перегородившей Гейзерную ниже устья руч. Водопадного, динамикой изменения уровня запрудного озера и интенсивностью накопления осадков в результате привнесения твердых взвесей, что в конечном итоге может привести к закупориванию выходных отверстий каналов гейзеров и источников, находящихся сейчас под водой озера.

Следует назвать также в числе дальнейших исследований изучение минеральных новообразований, осадков из термальных вод и гейзеритов прежде всего. С этим направлением косвенно связано изучение синезеленых водорослей, участвующих в формировании построек гейзерита своими кремневыми нитями или трубчатыми образованиями. Многое предстоит выяснить и в деятельности литотрофных термофильных бактерий, также обнаруженных на термальных площадках Долины гейзеров. Отдельный блок научных исследований связан с изучением эталонных биогеоценозов и экологии растительности в специфических условиях термопроявлений и термальных полей.

Необходимо подчеркнуть, что проведение практически всех названных научных исследований возможно только на охраняемой заповедной территории. В первую очередь это относится к слежению за основными показателями Гейзерной гидротермальной системы и их изменениями в естественных условиях, основанному на режиме поверхностных термопроявлений, в том числе гейзеров. В других случаях можно исследовать гидротермальные системы в искусственно созданных условиях, так как рано или поздно они становятся объектами промышленного использования, обеспечивая своими запасами горячей воды и пара работу геотермальных электростанций и комплексов теплоснабжения.

С задачей сохранения природного комплекса Долины гейзеров напрямую связан и контроль соблюдения правил безопасного нахождения здесь туристов. Опасными, например, могут быть места развития грязевых кипящих котлов, где постоянно идет процесс гидротермального изменения (размягчения) горных пород, о чем говорилось выше. В результате прочные по

внешнему виду участки нагретого грунта могут провалиться при нагрузке. Следует опасаться также оползней и осыпей на крутых склонах долины р. Гейзерной, особенно активизирующихся в период циклонических дождей.

Долина гейзеров, располагаясь на территории Кроноцкого государственного заповедника, автоматически попала в разряд охраняемых объектов. В настоящее время она включена в Семьячское лесничество, относящееся к участкам особого научного значения с ограниченной посещаемостью и усиленным режимом охраны. Последнее для Долины гейзеров особенно важно, поскольку велико желание многих любителей природы побывать в этих местах. К сожалению, неконтролируемое пребывание туристов здесь ведет к существенным нарушениям экологии и деятельности гейзеров. Например, за период «открытого» туризма (1967–1975 гг.) были неоправданно проложены многочисленные новые тропы и смотровые площадки, которые из-за эрозии в глинистом покрове превратились в глубокие канавы. Большой урон был нанесен непосредственно гейзерам. На многих из них были отбиты гейзериты. Особенно пострадали Великан, Сахарный, Жемчужный, Тройной. А ведь все посетители могли видеть, как красивы гейзериты, сверкающие в свете солнечных лучей под тонкой пленкой омывающей их воды. Досадно, что некогда бывшие украшением, унесенные гейзериты, скорее всего, бесполезно пылятся в уголках квартир, превратившись вдали от материнской среды в неприметный серый камень.

Были попытки изменить и режим некоторых гейзеров. Для этого забрасывали камнями выходное отверстие гейзера, уменьшая его сечение, или понижали уровень в бассейне-ванне, сделав в его стенке новые желобки, увеличивающие слив воды. С удивлением потом приходилось читать в различных публикациях восторженные рассказы «авторов» таких попыток о легкости изменения режима гейзеров. То, что мы теперь знаем о режиме гейзеров и механизме их действия, действительно подтверждает возможность искусственного изменения режима некоторых гейзеров. Причем, без особых усилий. Вопрос только в том, надо ли это делать.

На наш взгляд, любое вмешательство человека в поведение гейзеров недопустимо. Выше говорилось, что деятельность гейзеров зависит от влияния многих факторов. Они ранимы. Гейзеры рождаются, живут

и исчезают. На каждом этапе деятельности – зимой и летом, осенью и весной – они прекрасны (фото 112). Не будем своими неосторожными действиями влиять на естественное развитие гейзеров. Пусть этим распорядится сама Природа. И тогда перед нынешним поколением посетителей Долины гейзеров и теми, кто придет следом, гейзеры предстанут во всем великолепии мощи кипящих фонтанов, таинстве действия, неповторимости и красоте извержения.



112. И в суровые зимние дни кипят фонтаны гейзеров

С удовлетворением можно отметить, что в настоящее время многое сделано для обеспечения сохранности гейзеров и создания условий для осмотра Долины гейзеров туристами. Это и тропы с дощатым настилом, и оборудованные смотровые площадки, и вертолетная площадка, и небольшой приют с санитарными удобствами, и др. Важно только в дальнейшем, особенно в случае роста массового туризма, базу для его обеспечения создать за пределами Долины гейзеров. Можно надеяться также на сохранение или улучшение условий для работы научных сотрудников заповедника и других учреждений, занимающихся изучением природного комплекса Долины гейзеров.

## СЛОВАРЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ\*

**Андезит** – эффузивная, образовавшаяся при излиянии на поверхность магмы горная порода среднего состава, состоящая в основном из плагиоклаза и одного или нескольких цветных минералов (амфибола, пироксена, биотита).

**Базальт** – эффузивная горная порода основного состава с невысоким (до 52 %) содержанием кремнезема.

**Вулкан** – конусовидной или иной формы образование, возникающее при извержении глубинных магматических расплавов на дневную поверхность. В процессе вулканических извержений образуются главным образом конусовидные горы.

**Вулкан действующий** – вулкан, извержения которого происходят в настоящее время или происходили в течение исторического времени, а также вулкан, который обнаруживает постоянную фумарольную деятельность.

**Гидротермальная деятельность** – совокупное проявление процессов минералообразования, переноса тепла и вещества в условиях термоаномалий в верхних частях земной коры. Тесно связана с магматизмом. Конкретными формами являются современные гидротермальные системы и поствулканическая деятельность на действующих вулканах.

**Голоцен** – последнеледниковый период или последнеледниковая эпоха. Начало (нижняя граница) – 10 тыс. лет назад.

**Горная порода** – естественная ассоциация минералов, vznikшая в результате физико-химических и геологических процессов. Горные породы могут быть плотными (гранит, диорит, липарит, базальт и др.) или рыхлыми (песок, лёсс, глина, гравий и др.).

**Дайка** – плитообразное, вертикальное или крутопадающее тело, имеющее большую протяженность по простиранию и падению при относительно небольшой толщине.

**Дацит** – эффузивная светлая горная порода с высоким (до 70 %) содержанием кремнезема.

**Депрессия вулканотектоническая** – обширное понижение в рельефе, кольцевое или овальное, образованное в результате сильных излияний лавы из магматических очагов и опускания по сбросам. Диаметр вулканотектонических депрессий колеблется от 12–15 до 100 км. Видимая амплитуда опускания составляет от 300 до 1 000 м.

**Игнимбрит** – вулканическая порода кислого состава (обогатенная кремнеземом), образовавшаяся в результате спекания горячих, полужидких обломков изверженных пород, ориентированных в одном направлении.

**Кальдера** – кольцеобразная впадина с крутыми стенками и плоским дном, образовавшаяся в результате провала вершины вулкана, а иногда и прилегающей к нему местности, в ходе активной деятельности вулкана.

**Кратер** – впадина в виде чаши или воронки, расположенная на вершине конусовидной горы. Образуется в результате взрывных вулканических извержений.

**Лава** – магматический расплав, достигший дневной поверхности при извержении вулканов. Постепенно теряя пар и газ (летучие), расплав образует различной мощности и протяженности лавовые потоки и покровы.

**Магма** – огненно-жидкий расплав, возникающий в глубинных горизонтах Земли. В отличие от лавы магма более газонасыщена.

**Магматический очаг** – резервуар магмы, расположенный в неглубоких частях литосферы (до глубины нескольких тысяч метров).

**Пемза** – вспенившееся стекло (или каменная пена) кислых и средних по составу расплавов (лав). Пена базальтовая – сплетение тонких волосовидных стеклянных нитей.

**Пирокластика**, или **пирокластический материал** – различные по размеру и форме обломки, выброшенные в раскаленном состоянии взрывными (эксплозивными) вулканическими извержениями. К ним относятся шлаки, бомбы, лапилли, пемза, пепел.

**Плейстоцен** – период в геологической истории, включающий большую часть четвертичного, современного периода развития Земли, кроме голоцена, и продолжающийся около 1 млн лет.

**Пьезометрический (напорный) уровень** – уровень (относительно дневной поверхности), до которого поднимаются или могут подняться напорные (артезианские) воды в буровой скважине или колодце.

**Рифт** – расщелины, открытые трещины, по которым происходит излияние обычно базальтовых лав.

**Стратовулкан** – вулканический конус, сложенный чередованием рыхлых или эксплозивных (шлаки, песок, пепел и др.) продуктов и лавовых потоков, поступающих из жерла вулкана, наиболее характерная форма вулканов.

**Туф** – порода вулканического происхождения, состоящая из обломочного, большей частью несортированного материала, впоследствии сцементированного и отвердевшего.

**Туфолава** – горная порода, занимающая промежуточное положение между туфом и лавой. Часто туфолаву называют лаволастические породы, природа которых неясна.

**Фильтрационные свойства пород** – способность горных пород пропускать жидкость через пористую среду (капиллярные поры, трещины и др. пустоты) под влиянием силы тяжести и капиллярных сил.

**Фумарола** – выход горячего вулканического газа и пара в виде струй или спокойно парящих масс из трещин или каналов на поверхности вулкана или из неостывших лавовых потоков. По составу газов различают сернистые фумаролы – сольфатары и углекислые – мофетты.

**Шлак** – куски лавы разной величины – один из главных продуктов выброса при взрывных извержениях вулканов. Образуется шлак и на поверхности лавовых потоков.

**Эксплозия** – явление вулканического взрыва, обычно сопровождающееся выбросами большого количества пирокластического материала и газов.

**Экструзия** – выжимание или выдавливание на поверхность преимущественно вязкого магматического расплава, в результате чего образуются куполовидные (экструзивные) тела главным образом изометричной формы.

\*При составлении словаря геологических терминов использованы: Геологический словарь. Т. 1, 2 / ред. А. Н. Криштофович. – М., 1955; Влодавев В. И. Справочник по вулканологии. – М.: Наука, 1984.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов В. Н.* О режиме камчатских гейзеров // Вопросы географии Камчатки. – Петропавловск-Камчатский, 1964. – Вып. 2. – С. 70–81.
- Влодавец В. И.* Вулканы Земли / В. И. Влодавец. – М. : Наука, 1973.
- Действующие вулканы Камчатки. Т. II. – М. : Наука, 1991. – С. 94–141.
- Жилин М. Я.* Тропа к гейзерам. Дальневосточные путешествия и приключения / М. Я. Жилин. – Хабаровск : Кн. изд-во, 1989. – Вып. 12. – С. 162–187.
- Карпов Г. А.* В кальдере вулкана / Г. А. Карпов. – М. : Наука, 1980.
- Карпов Г. А.* Узон – земля заповедная / Г. А. Карпов. – М. : ЛОГАТА, 1998. 64 с.
- Крашенинников С. П.* Описание земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии Наук профессором. Т. 2. / С. П. Крашенинников. – СПб, 1786. – 2-е изд.
- Леонов В. Л.* Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм / В. А. Леонов. – М. : Наука, 1989.
- Лодис Ф. А.* Камчатка – край лечебный / Ф. А. Лодис, В. И. Семенов. – Петропавловск-Камчатский : Дальневост. кн. изд-во, Камчат. отд-ние, 1993. – 152 с.
- Набоко С. И.* Гейзеры Камчатки // Тр. Лаборатории вулканологии. – М. : Изд. АН СССР, 1954. – Вып. 8. – С. 126–209.
- Науменко А. Т.* Кроноцкий заповедник / А. Т. Науменко, Е. Г. Лобков, А. П. Никаноров. – М. : Агропромиздат, 1986.
- Паужетские горячие воды на Камчатке / ред. Б. И. Пийп. – М. : Наука, 1965. – 208 с.
- Пийп Б. И.* Термальные ключи Камчатки / Пийп Б. И. – М. : Изд-во АН СССР, 1937.
- Райк А. А.* О режиме гейзеров Камчатки / Исследование природы Дальнего Востока. – Таллинн, 1963. – С. 39–90.
- Семенов В. И.* В краю вулканов и гейзеров / В. И. Семенов. – М. : Физкультура и спорт, 1973.
- Сугрובה Н. Г.* Некоторые закономерности режима гейзеров Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1982. – № 5. – С. 35–48.
- Сугрובה Н. Г.* Изменение режима термопроявлений Долины гейзеров под влиянием циклона «Эльза» / Н. Г. Сугрובה, В. М. Сугробов // Вопросы географии Камчатки. – Петропавловск-Камчатский, 1985. – Вып. 8. – С. 88–94.
- Устинова Т. И.* Камчатские гейзеры / Т. И. Устинова. – М. : Географгиз, 1955.
- Allen, E. T.* Hot springs of Yellowstone National Park / E. T. Allen, A. J. Day. – Carnegie Inst., 1935
- Barth, T. F. W.* Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland. Carnegie Inst. – Washington, Publ., 1950. – 587 p.
- Keefer, W. R.* The geologic story of Yellowstone National Park. – Lincoln : University of Nebraska Press, 1972. – 92 p.

ПУБЛИКАЦИИ О КАТАСТРОФЕ,  
ПРОИЗОШЕДШЕЙ В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ  
НА КАМЧАТКЕ 3 ИЮНЯ 2007 г.

*Двигало В. Н.* Природная катастрофа и крупный аллохтон 3 июня 2007 г. в бассейне р. Гейзерная (Камчатский край, Россия) / В. Н. Двигало, И. В. Мелекесцев, И. Ю. Свирид // Доклады РАН. – 2008.

*Дрознин В. А.* Долина гейзеров после геологической катастрофы / В. А. Дрознин, Н. И. Селиверстов // Вестник КРАУНЦ. Сер. «Науки о Земле». – 2007. – № 2. – С. 7–8.

*Леонов В. Л.* Долина гейзеров – что произошло на самом деле / В. Л. Леонов, А. В. Леонов // [http://www.kscnet.ru/ivs/expeditions/2007/Geysers\\_Valley-06-2007/Geysers\\_Valley-06.htm](http://www.kscnet.ru/ivs/expeditions/2007/Geysers_Valley-06-2007/Geysers_Valley-06.htm)

*Нечаев А.* Камчатские гейзеры: гибель и возрождение / А. Нечаев // Журнал «Вокруг света». – 2007. – № 10. – С. 225–234.

*Пинегина Т. К.* Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. / Т. К. Пинегина, И. Ф. Делемень, В. А. Дрознин, Е. Г. Калачева, С. А. Чирков, И. В. Мелекесцев, В. Н. Двигало, В. Л. Леонов, Н. И. Селиверстов // Вестник ДВО РАН. – 2008. – № 1. – С. 33–44.

*Gordeev, E. I.* June 03, 2007 natural disaster in the Valley of Geysers in Kamchatka / E. I. Gordeev, T. K. Pinegina, V. A. Droznin, V. N. Dvigalo, I. V. Melekestev // Eos Trans. AGU, 88(52). 2007. – Fall Meet. Suppl., Abstract T51A-0297.

*Droznin, V. A.* Geysers Characteristics Before and After Landslide June 3-rd 2007 (Geysers Valley, Kamchatka) / V. A. Droznin, A. V. Kiryukhin, J. D. Muraviev // Eos Trans. AGU, 88(52). 2007. – Fall Meet. Suppl., Abstract G41A-0146.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Предисловие (Т. И. Шпиленок) .....   | 5   |
| Введение (В. М. Сугробов) .....  | 6   |
| Краткая история открытия и изучения Долины гейзеров (В. М. Сугробов) .....   | 8   |
| Краткий физико-географический очерк района и общая характеристика поверхностных термопроявлений (В. Л. Леонов, В. М. Сугробов) ..... | 12  |
| Поверхностные термопроявления .....  | 17  |
| Термальные поля и горячие источники Семячикского района .....  | 19  |
| Общая характеристика Долины гейзеров (В. М. Сугробов) .....  | 23  |
| Долина Смерти и причины гибели животных в верховьях р. Гейзерной (Г. А. Карпов) .....  | 30  |
| Климат, растительный и животный мир (В. М. Сугробов) .....   | 33  |
| Геологическое строение и история Долины гейзеров (В. Л. Леонов) .....  | 35  |
| Гидрогеология и модель Гейзерной гидротермальной системы (В. М. Сугробов, Н. Г. Сугрובה) .....                                       | 40  |
| Гейзеры и другие термопроявления долины р. Гейзерной (Н. Г. Сугрובה, В. М. Сугробов) .....   | 45  |
| Участок Приустьевой (I) .....  | 48  |
| Участок Тройной (II) .....   | 48  |
| Участок термопроявлений руч. Водопадного (III) .....   | 50  |
| Участок Скалистый (IV) .....   | 52  |
| Участок Лагерный (V) .....   | 55  |
| Участок Щелевой (VI) .....   | 59  |
| Участок Центральный (VII) .....  | 62  |
| Участок Верхний (VIII) .....   | 72  |
| Участок Верхне-Гейзерных источников (IX) .....   | 74  |
| Отложения термальных вод (Г. А. Карпов)  |     |
| Гейзериты .....  | 76  |
| Термофильные водоросли .....   | 78  |
| Связь деятельности гейзеров с гидротермальной системой, механизм их действия (В. М. Сугробов) .....                                  | 81  |
| Гидротермальная активность (Н. Г. Сугрובה, В. М. Сугробов)   |     |
| Режим гейзеров .....   | 86  |
| Изменение поверхностной гидротермальной активности .....   | 89  |
| Продолжительность жизни гейзеров .....   | 91  |
| Катастрофа, произошедшая в Долине гейзеров 3 июня 2007 г. (В. А. Дроздин, В. Л. Леонов) .....  | 94  |
| Оползень и условия его образования .....   | 94  |
| Последствия оползня .....  | 99  |
| Вопросы изучения и охраны гейзеров – уникального явления природы (В. М. Сугробов) .....  | 104 |
| Словарь геологических терминов .....   | 106 |
| Рекомендуемая литература .....   | 107 |
| Публикации о катастрофе, произошедшей в Долине гейзеров на Камчатке 3 июня 2007 г. ....  | 107 |

Научно-популярное издание

## ЖЕМЧУЖИНА КАМЧАТКИ – ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ

Научно-популярный очерк, путеводитель

Составитель Сугробов Виктор Михайлович

Редактор Е. Рыбаченко

Корректор Ж. Максимова

Оригинал-макет О. Федуловой, при участии О. Вериной

Подписано в печать 22.07.09 г. Формат 60 x 84/8.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman», «Agiat». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18.60. Тираж 1 000 экз. Заказ № 2539.

Издательство «Камчатпресс». 683017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а.

Отпечатано в ООО «Камчатпресс». 683017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а