

# ЖЕМЧУЖИНА КАМЧАТКИ — ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ

---

Научно-популярный очерк, путеводитель

# THE PEARL OF KAMCHATKA: THE VALLEY OF GEYSERS

---

Popular science guidebook



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 написана на русском и английском языках, 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

Автор фотографий Н. П. Смелов

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

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

Перевод на английский язык: А. Ф. Сашенкова, О. Б. Верейна

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.

Authors: V. M. Sugrobov, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences, Laureate of Russian State Award in the sphere of science and technology, N. G. Sugrobova, Research Associate, V. A. Droznin, Doctor of Engineering Sciences, G. A. Karpov, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences, V. L. Leonov, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences.

The book comprehensively covers the unique phenomenon of geysers and the conditions of their emergence in the famous Valley of Geysers on Kamchatka based on an over 25-year period of study by the authors. The book provides brief descriptions of physical-geographic conditions, thermal fields, hot springs, geology and hydrogeology of the Valley, regimes of geysers, composition of thermal waters and geysersites. Reasons for the 2007 huge landslide are also dealt with and estimates of future changes are accounted.

The book is both in Russian and in English, and contains 15 maps and figures, 5 tables and 114 original color pictures. The book will be valuable for geographers, geologists, hydrogeologists, students, all the interested in Kamchatka wilderness and potential visitors.

Compilation made by В. М. Сугробов

Photographs made by Н. П. Смелов

This book also contains the photographs made by I. F. Delemen, V. A. Droznin, M. Ya. Zhilin, V. A. Zlotnikov, Ya. D. Muraviev, A. I. Nikolskiy, V. M. Sugrobov

Scientific editor: B. G. Polyak, Dr. Sci

Translation: A. F. Sashenkova, O. B. Vereina

Front cover: geyser Bolshoi; back cover: Bolshoi Semyachik volcano. View from a platform forest guard in a Valley of Geysers

Authors acknowledge to the administration and staff of Kronotsky reserve for co-operation in research work, results of which were used in this book. Authors also thank their colleagues named above for some photos.



Россия



СОХРАНЕНИЕ  
БИОРАЗНООБРАЗИЯ  
КАМЧАТКИ

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


Рекомендовано Министерством природных ресурсов Камчатского края.

© ПРООН, 2009

© Сугробов В. М., Сугрובה Н. Г., Дрознин В. А., Карпов Г. А., Леонов В. Л., 2009

© Смелов Н. П., фото, 2009

ISBN 978-5-9610-0099-3



*Я потрясен, я сбит, подавлен,  
Я смят, сметён, я – покорён!  
Красою дикой, первозданной,  
Как милой девушкой, пленён!*

*Здесь всё как в сказке,  
все на диво –  
Веселых фумарол пары,  
Фонтаны гейзеров игривых,  
Шипенье, плеск в любой щели!*

*В. Л. Леонов*

## Introduction

The one who reaches the shores of the Kronotsky Bay near the Zhupanovo settlement, gets deeply impressed by the view of the highland with volcano summits so different in shape. Regular cone of the Karymsky active volcano is well observed to the left. When a glance slides to the right, one can notice a ridge-like volcano, Maly Semyachik, further on to the right there stretches a summit chain of volcanic massifs of Bolshoy Semyachik. To complete the picture, volcano tops of Uzon and Kikhpinych appear at a distance. In fair weather, during the periods of volcanic activity intensification, steam-gas jets can be seen rising upright above the volcanoes of Karymsky, Maly Semyachik and sometimes over Bolshoy Semyachik. One can hardly keep the desire to get the closest possible to these magnificent fire-spitting mountains, to examine them and to learn everything about them.

The history of exploration and studies in Kamchatka goes back to the 18-th century. During the work of the First Kamchatka Expedition of the Russian Academy of Sciences (1737–1740), Stepan Petrovich Krasheninnikov was the first to give a primary description of fumaroles and thermal fields in the area of Centralny and Burlyashchy volcanoes (the volcano group of Bolshoy Semyachik). Later on, these sites were visited by K. Ditmar (1851–1854), Russian academician and naturalist V. L. Komarov (1909), volcanologist B. I. Piip (1933) and other scientists and researchers. They would have been greatly surprised, however, to learn that not far from their routs to those threatening volcanoes, fumaroles and hot springs, in a deep and relatively narrow valley of a small river, there existed real geysers. People got to know about their existence in April, 1941. Tatyana Ivanovna Ustinova, a geologist from the Kronotsky State Biospheric Reserve, first discovered a geyser at the Shumnaya River, and then lots of them along the banks of its left tributary (nowadays the river Geysernaya).

Sensational discovery of geysers has enriched the largest in our country Kronotsky Reserve with one more bright sight of the nature. Thus Russia was enlisted as one of the few countries in whose territory there exist active geysers. Frankly speaking, small geysers and signs of their activity were noted even before the time of discovery of the Valley of Geysers. They were observed in the valleys of such rivers as Pauzhetka, Bolshaya Bannaya and Kirevna. But very few

## 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 Кихпинич. 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 безуспешно пытались это сделать. Первым был Степан Петрович Крашенинников, выполнивший начальное описание fumarol 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 fumarолам 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 20-го столетия многочисленных и великолепных 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

people knew about them, even though S. P. Krasheninnikov described «the springs gushing forth with great noise» in their two first locations in his book «The Description of the Kamchatka Land».

So, let us see what a geyser is and where it can be found.

First of all, it should be noted that in all the areas of geyser occurrence, they co-exist with some other surface manifestations of thermal anomalies. Among such anomalies we can mention hot and boiling springs, steam jets, hot water and mud pots and lakes, soil warmed up to different temperatures. Occurrence of geysers among other surface thermal manifestations suggests that geysers do not exist by themselves. It seems that like all the other types of the so-called hydrothermal activity, geysers are connected with some deeper sources of heat energy, that is, with hydrothermal systems. The last are characteristic for the zones of recent or young volcanism, dated first of all to island arcs of the Pacific Ring, a volcanic belt of the Mediterranean, young oceanic and continental rifts. Studying of hydrothermal systems in the named regions including Kamchatka, with the help of deep boreholes has unequivocally confirmed such connection. And studying of the regime of geysers and geothermal wells has shown in turn, that geysers represent a special kind of boiling (steam-and-water) springs that as against the last periodically throw up hot water and steam above the ground surface.

The regime of their action can be characterized by consecutive change of stages of water outflow, eruption (spouting) of a steam-water mixture, allocation steam (steaming) and stages of full rest.

The principle of geyser operation will be considered in details below. Here we'd like to notice just that activity of a true geyser is impossible without the existence of ground waters with temperatures higher than the boiling-point (about 100 °C).

The very term «geyser» came from Iceland, where in the XIII century the word «geysir» (literally «sudden outpouring») denoted a fountain of boiling water and steam ejecting from time to time (photo 1). As a unique natural phenomenon, real geysers got widely known after the discovery of numerous and magnificent geysers in North America and New Zealand in the middle of the XIX century. The magnificent picture of their activity, variety of their locations, as well as legends about their origins, can be found in vivid descriptions of travellers, geographers, geologists, and even in adventure novels of famous writers. Take, for example, New Zealand geysers in the book by Joule Vern «Children of Captain Grant».

It is necessary to name known geologists, whose professional researches have made the basis of modern knowledge of geysers. It: E. T. Allen, A. L. Day, D. E. White, T. F. W. Barth, T. Einarsson, J. Healy, E. F. Lloyd, T. I. Ustinova, S. I. Naboko, V. V. Averiev and many others.

The big and quite explainable interest to geysers provoked many people to refer as such lots of surface thermal manifestations vaguely resembling geysers. This name is



*1. Типичный вид гейзера в момент извержения*

*1. Typical view of a geyser in the moment of eruption*

often given to hot or just warm springs, water pots with gas bubbles, or even simple steam-gas jets, usually accompanied by the scent of hydrogen sulfide. This fact increased the number of countries, enlisted as territories where geysers can exist. In fact, real geysers are found and more or less studied in 33 countries beside already mentioned. Thus, geysers are quite clearly expressed in Chile, Peru, Mexico, China, Indonesia, Japan, Papua – New Guinea, Ethiopia and Kenya. However, the real violence of the Earth's heart, that is the eruptions of true large geysers, can be observed only in Iceland, in Yellowstone National Park of USA, at the northern island of New Zealand and in the Kamchatka Peninsula in Russia.

Magnetic beauty of geyser eruptions, when for a few seconds or minutes a fountain of boiling water and steam rises up to dozens of meters, evokes everybody's admiration. In the Valley of Geysers (Kamchatka), one can observe geysers erupting at the background of a wonderful mountain landscape decorated by peculiar thermal fields of hydrothermally altered rocks, glaring multicolored clays, by a great number of sputtering and noisy fountains of boiling springs and small geysers, by greenish thermophile algae, by cold, warm and hot streams and waterfalls. The Valley of Geysers is really worth being called «The Pearl of Kamchatka».

Geysers attract different specialists, and first of all, those dealing with the problems of Earth's heat utilization. Knowledge of the regime of surface thermal manifestations, including geysers, is necessary for the study of hydrothermal systems and geothermal deposits, containing huge resources of hot water and steam. When brought to the surface through the bore wells, these resources are used

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. Эйнарсон, 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).

for the operation of geothermal electric power stations. In Russia, the first such station was Pauzhetka Geothermal Power Plant at the South of Kamchatka. By the way, before the beginning of the station construction, two small gey-



© А. И. Никольский / A. I. Nikol'skiy

## **2. Мутновская геотермальная электростанция**

### **2. Mutnovsky geothermal power plant**

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.

sers were active here. Larger plant is constructed now near Petropavlovsk-Kamchatsky, in the vicinity of the Mutnovsky volcano (photo 2).

The present illustrated edition will give a brief review of the Valley of Geysers for those not able to visit this charming nook of Kamchatka. For the visitors, it can serve as an accessible and quite profound guide.

## Brief history of discovery and studies of the Valley of Geysers

The history of large geysers discovery in Kamchatka is amazing as geysers themselves. Though in the XVII century Russian pathfinders came to Kamchatka shore of the Okhotsk Sea and then to the Pacific Ocean, it took almost 300 years to find geysers here. Krasheninnikov's expedition that had visited thermal fields of Bolshoy Semyachik (see fig. 1), was quite close to the place named the Valley of Geysers afterwards. The same places were visited by K. Dittmar, who observed the caldera of the Uzon volcano, as well as thermal fields and hot springs at the foot of Bolshoy Semyachik. The closest to the discovery of geysers were academicians V. L. Komarov and B. I. Piip. In 1909, passing the Southern foot of the Kikhpinych volcano, V. L. Komarov saw a river, streaming to the North-West. He called it «the River of Great Fumarole», because of the powerful steam columns rising at its head. In 1933, having expeditional investigations at Uzon Caldera finished in a hurry due to early snowfalls, B. I. Piip was also riding his horses to the shores of the Pacific Ocean along the Southern foot of the Kikhpinych volcano. From there he saw white steam clouds, resembling the Uzon steam jets, at the head of a small river, which was probably «the River of Great Fumarole». He was too short of time and weather conditions were too dangerous for him to be able to examine those clouds. This fact, perhaps, did not let him see geysers in the midstream waters of the same river.

It was only on April 14, 1941, when T. I. Ustinova (photo 3), accompanied by a supervisor of the Kronotsky Reserve



3. Татьяна Ивановна Устинова, 1976

3. Tatyana Ivanovna Ustinova, 1976

## 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 стоял академик В. Л. Комаров и Б. И. Пийп. В 1909 г. В. Л. Комаров, проходя по южному подножью вулкана Кихпинич, 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 Кихпинич. 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 Кронотского 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 снега 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 известные 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 спастись, 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 было 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 р. Шумной. К долине неизвестной речки Т. И. Устинова и А. П. Крупенин теперь спустились от ее истоков, с юго-западного подножия вулкана Кихпинич. 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).

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. Авенин, 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

A. P. Krupenin, first found a true geyser. As recollected after T. I. Ustinova, it was as follows. Her task was to investigate the rivers Shumnaya and Tikhaya. Ustinova and Krupenin started on a dog-sledge to the mouth of the Shumnaya river. Their final aim was to go to this river's head, that is, to the Uzon Caldera. It is quite difficult to travel here in summer, because the lowland is swampy and mountain slopes are covered by thick elfin wood. It appeared impossible to move along the never-freezing Shumnaya on a dog-sledge. That's why Ustinova and Krupenin had to ski on. Passing by the valley, the participants of this small expedition saw in a distance the steam clouds, which they recognized as already known fumaroles of the Uzon Caldera. However, they could not reach them. The spring day was coming to the end, it was high time for them to get back to their camp. T. I. Ustinova and her companion decided to take a little rest and sat down on the right bank of the river. All of a sudden, a fountain of boiling water and steam shot up towards them.

«Spellbound (T. I. Ustinova recalled), we watched that unbelievable explosion, having no idea how to escape, should the erupting hot water reach us. There was nowhere to run on the steep slope. The eruption and rumble seized suddenly as they had started. For about a minute, a steam column was rising above the ground, and then disappeared. It became quiet and calm as if nothing had happened. We were sitting frightened and depressed. A few minutes had passed before it struck me that what we had just seen was a geyser! A geyser no one had ever seen before in Kamchatka».

Until the end of that day, the pioneers managed to move



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

4. «Pervenets» (First) Geyser. First geyser T. I. Ustinova saw in April, 1941



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

5. T. I. Ustinova on ways to a Valley of Geysers, 1945

a bit up the left warm tributary entering the Shumnaya River 30 meters away from the discovered geyser. This site showed nothing extraordinary.

The report on the geyser discovery was published in the newspaper «Kamchatskaya Pravda» and then reprinted in the «Izvestiya» not long before the Great Patriotic War. With its beginning, the work conditions changed greatly. However, an expedition was organized in the summer of 1941 to investigate in detail the warm tributary of the Shumnaya River. This time T. I. Ustinova and A. P. Krupenin started to the unknown river from its headwaters, that is, from the South-Western foot of the Kikhpinych Volcano. They got deeply impressed by the view of the middle part of the valley. At the left slope along the river bank they saw lots of exposed sites, without any plants, but with numerous pulsating boiling springs, and a number of active areas of large geysers. The unknown warm river was given a name «Geysernaya», and the first geyser T. I. Ustinova had seen on the bank of the Shumnaya River was called «Pervenets» (First) (photo 4).

T. I. Ustinova later visited the valley of the Geysernaya River in 1945 and in 1951 (photo 5). Her husband, Yu. V. Averin, and famous hydrogeologists V. V. Ivanov and G. A. Golova (Gonsovskaya) took an active part in the researches. T. I. Ustinova reported the results of the initial stage of geysers investigation in her Ph. D. thesis and in the wonderful book «Geysers of Kamchatka» published in 1955. This book includes the first general characteristics of the Valley of Geysers, detailed descriptions of all the large geysers, as well as their locations, regimes and geyserites constructions. Some suggestions on the geyser process mechanism are also given here. The names given to the geysers by T. I. Ustinova have stuck in our memory, because of their clear correspondence to the picture of geyser activity. For example such names as Velikan (Giant), Zhemchuzhny (Pearl), Sakharny (Sugary), Troynoy (Triple), Fontan (Fountain), etc.

Naturally, after the issue of papers and book by T. I. Ustinova about the Kamchatka geysers, the number of

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 карты, базирующиеся на впервые составленных топографических картах масштабов 1 : 10 000 и 1 : 2 000. Последние были составлены на основе полевых наземных и аэрофотоснимков 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 гидрометеорологических 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 минералообразовании.

В популяризации Долины гейзеров большая роль принадлежит журналистам, краеведам, фотохудожникам.



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

**6. V. V. Averiev, the famous researcher of the Valley of Geysers, hydrothermal systems and the geyser activity**

researchers and fans of the nature, which directed towards the Valley of Geysers grew every year. Among them was S. I. Naboko, who had supplied Ustinova's works with descriptions of some new small geysers, records of regime of geysers, as well as with the characteristics of mineralogical and chemical composition of geyserites. Besides, A. A. Raik gave some data on the detailed record of large geyser operation regimes during the summer months of 1960. V. N. Vinogradov was the first to describe the geysers Burlashchii (Seething) and Verkhonii (Uppermost), and to register the regime of some geysers in winter conditions.

The second stage of the Valley of Geysers study started in 1962, during the work of an expedition of the newly established Institute of Volcanology in Petropavlovsk-Kamchatsky and the Geology Institute of the Russian Academy of Sciences, headed by V. V. Averiev (photo 6). The expedition was aimed at the investigation of the whole hydrothermal system, the existence of which gives life to geysers. Heat capacity of the system was first determined, geological and hydrogeological conditions were characterized, as well as the hydrothermal figure of cold and hot ground waters. The results were partially published by the members of the expedition, V. V. Averiev, V. I. Belousov, B. V. Ivanov and V. I. Kononov.

The next stage refers to the beginning of the 70-th, when studies of geyser regimes and accompanying geological-hydrogeological conditions became systematic due to the efforts of the Institute of Volcanology and the Kronotsky Reserve. Geological, geothermal, hydrogeological and hydrochemical maps were made based upon topographical maps scaled 1 : 10 000 and 1 : 2 000. The latter had been composed based upon the field and air photography carried out by the members of Novosibirsk Institute of Air Geodesy and Cartography under the direction of B. V. Seleznev. Naturally, geysers, pulsating springs, sites of heated soil and other thermal manifestations had been charted. Timing of action of geysers started with the help of water level recorders. Many-year's record allowed to reliably determine the average duration of geyser activity and deviations from this norm, as well as changes in their regimes caused by seasonal variations of hydrometeorological conditions and by the changes in hydrothermal activity. As the result of complex studies, a model of the Geyser hydrothermal system formation was suggested, as well as its geological history, and some ideas of geyser activity mechanism were developed. The above works were executed by a group of researchers including V. I. Belousov, V. A. Voronkov, E. N. Grib, V. A. Drozdnin, V. L. Leonov, V. M. Sugrobov, N. G. Sugrobova, Yu. M. Khatkevitch and other, under a management and V. M. Sugrobova's participation. A great number of chemical analyses had been made by chemists V. K. Marynova, S. V. Sergeeva, N. A. Tiurina, under the leadership of R. A. Shuvalov.

In the course of the above studies, minor geographical discoveries were made. A number of already known geysers was supplied with the descriptions of some smaller ones (geysers Nedostupny (Inaccessible), Averiievsky, Teremok (Fairy-Tale House), Pyatimnutka (Five-minutes), Evanushka, Kotli (Pots), Verkhonii v rusle and others). A jet of overheated steam – a «fumarole» – was revealed with the temperature



© В. М. Сугробов / V. M. Sugrobov

of 110 °C. But the most unexpected was the discovery of almost cold disseminated discharges of carbon dioxide and hydrogen sulphide in the upper reaches of the Geysernaya River, among the thermal fields of southwestern foot of the Kikhpinych volcano. They were first found by V. L. Leonov who paid attention to the unusual number of dead animals, bears, foxes, small rodents and birds over a small area at the mouth of the Zhelty (Yellow) Stream. They had most probably died after inhalation of the mentioned gases that had accumulated in the air near the ground surface. This place is now known as the Valley of Death. Lots of valuable data on the geyser state were obtained by V. N. Nechaev (Institute of Volcanology) and V. N. Nikolaenko (Kronotsky Reserve). G. S. Shteinberg and his group carried out some modeling of the geyser process, G. A. Zavarzin and G. A. Karpov determined the role of microorganisms in hydrothermal mineral formation.

In popularization of the Valley of Geysers the big role belongs to journalists, regional specialists, pictorialists. V. T. Davydov was the first artist to render the unique views

*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*

*7. T. I. Ustinova with a group of explorers of the Valley of Geysers of the 1970-th. From the left to the right: V. M. Sugrobov, V. I. Belousov, N. G. Sugrobova, T. I. Ustinova, N. Baibarza, V. L. Leonov*

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, приезжавшую в Долину гейзеров (фото 7).

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 проводили 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.

of the Geysernaya River in 1950. His sketches were published in the Journal «Pioneer» and got onto the cover of the Ustonova's book. M. Ya. Zhilin made several interesting reports and essays about the Valley of Geysers, about T. I. Ustinova and A. P. Krupenin. Useful information on geysers is presented in the work of remarkable regional specialist V. I. Semenov. Visual patterns of the Valley of Geysers are associated with original photos by V. E. Gippenreiter, Yu. Ya. Muravin, I. V. Vainshtein, V. N. Plotsky, N. P. Smelov, I. E. Daletskaya, A. M. Nechaev and others. Here we should also mention the film by the Kamchatka television studio titled «Where the Spring Spends the Winter» shot in 1979. The authors of the film S. V. Verchenko, V. I. Ivanchenko, H. I. Nelipovich and V. M. Shishkov rendered some pictures of T. I. Ustinova who visited the Valley of Geysers (photo 7).

Over all the history of the geyser study, a great contribution was the work of the members of the Kronotsky Reserve, which first of all consisted in the preservation and protection of this unique area. In 1972, the Kronotsky Reserve and the Institute of Volcanology organized the work of a permanent field-base; one of its tasks was to observe the geyser regimes. Naturally, major efforts were aimed at the study of plants', birds' and animals' communities, which develop under specific conditions of recent hydrothermal activity. To achieve this aim, specialists of the Reserve A. T. Naumenko, E. G. Lobkov, A. P. Nikanorov, V. A. Nikolaenko, and many others successfully carry out their researches. Administration of the Reserve faced the problem of tourists' visits to the Valley of Geysers, which is a part of the reserved territory. This problem was partially solved when helicopter excursions limiting the number of tourists were organized. Tourists' travels over the Valley of Geysers is also limited by plank-layered footpaths that help to preserve the landscape, plants and animals, and, above all, the geysers, though they change a little the usual wild view of the Valley.

## *Brief physical-geographical sketch of the region and general characteristics of surface thermal manifestations*

The Valley of Geysers is located 180 km north-east of Petropavlovsk-Kamchatsky, among the volcanoes that stretch chain-like along the eastern coast of the Kamchatka Peninsular within the so-called Eastern Volcanic Belt. In the modern relief, this region presents a high plateau, with different in form and age volcanic construction towering above it. Among those are active volcanoes Kikhpinych and Uzon (fig. 1). Volcanogenic depressions and calderas are also typical for the local relief. The plateau extends along the shore of the Kronotsky Gulf, about 10 km off it, and serves as a foot for the volcanic construction above, which fashion this territory as a typical mountain area (photo 8).

## *Краткий физико-географический очерк района и общая характеристика поверхностных термоявлений*

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 Семьячик, Кихпинич и Узон (рис. 1). Характерным элементом рельефа являются также вулканотектонические депрессии и кальдеры. Плоскогорье, часто имену-



© Суяробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

**8. Volcanic plateau – pedestal for volcanic construction. In the center – massif Kikhpinych–Zheltaya, to the right in the background – the Kronotsky volcano**

емое 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, Кихпинич – 1552, Узон – 1610 и несколько удаленный вулкан Тауншиц 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 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 «докальдерного 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.

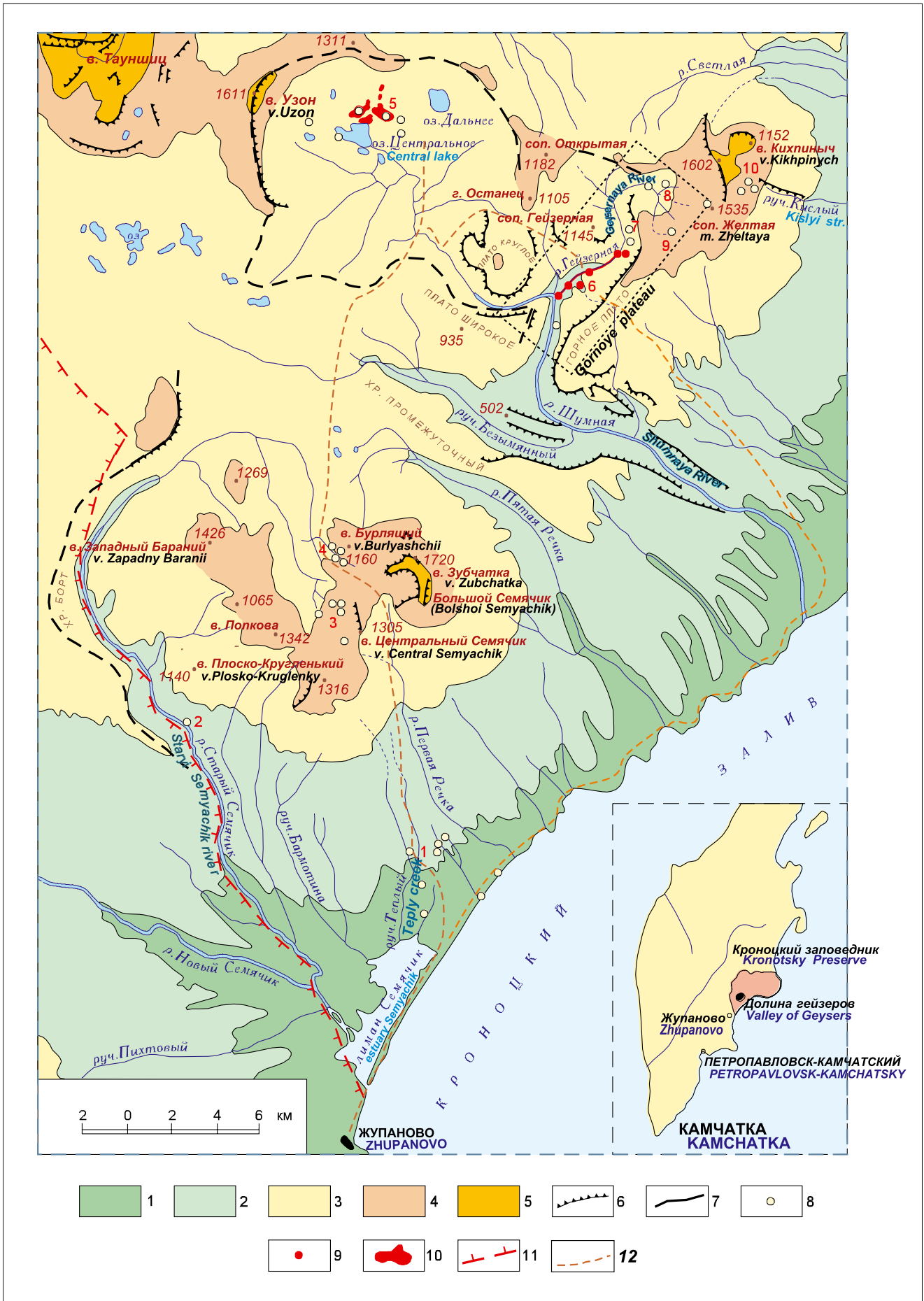
Особая страница геологической истории связана с кальдерообразованием. В ходе его происходили мощные эксплозивные извержения и формирование обширных полей пирокластических отложений с преобладанием так называемых игнимбритов. Они заняли значительную часть территории, включая побережье океана coast of ocean, и, заполнив неровности рельефа, создали платообразные равнины. Одновременно с выбросом на поверхность огромного количества пирокластического материала, приведшего к опустошению магматических камер, произошло проседание

The absolute marks of the plateau are 600–900 m, while some tops (all of volcanic origin) rise above its surface for a few hundred meters. For example, the Burlyashchii volcano has the mark of 1160 m, Central Semyachik – 1300, Bolshoi Semyachik (Zubchatka) – 1720, Kikhpinych – 1552, Uzon – 1610, and a little bit isolated volcano Townshits reaches the height of 2353 m. On the whole, this region is characterized by the accumulative volcanic type of relief whose formation is associated with the accumulation of volcanogenic deposits. The oldest Lower-Middle-Pleistocene effusive masses are outcropped mainly at the sides of depressions and calderas, while younger, Upper Pleistocene and Holocene ones compose an extensive plateau, as well as composite volcanoes, cinder cones and extrusive domes.

These geological formations constitute the upper part of a thick deposit complex that occupies an extensive trough (graben-syncline) of eastern Kamchatka stretching in a forty kilometers long chain from the Avachinskaya volcanic group to the Gamchenskii volcanic range in the North. The most vivid element of the region is a number of large ring-like volcanic-tectonic depressions, and, in particular, Uzon-Geyser and Semyachinskaya ones (fig. 1). Their formation is the basic stem of the history of this territory as well as of the origin of its major geological structures.

Immediately preceding the formation of volcanic-tectonic depressions, rocks of the so-called «pre-caldera complex» are mostly volcanogenic formations associated with the eruptions of ancient volcanoes, including large shield basaltic ones. Over the most part of the area, they are overlaid by younger deposits and can now be observed in the steeps of large river valleys, for example, in the middle current of the Staryi Semyachik River (the Bort Ridge), at the Shumnaya River and at the northern outer steeps of the Uzon Caldera.

A special page of geological history is connected with the formation of calderas, during which large explosive eruptions took place as well as formation of vast fields of pyroclastic deposits, the so-called ignimbrites prevailing. They had occupied a considerable part of the territory, including the oceanfront, and formed plateau-like plains having filled irregularities of the relief. Surface subsidence on ring faults occurred simultaneous to the eruption of great volumes of pyroclastic material onto the surface, which led to hollowing out magmatic chambers. In that way, Uzon and Geyser Calderas were formed, as well as the whole Uzon-Geyser depression afterwards. It happened about 80–40 thousand years ago, in the Upper Pleistocene. During the following stage of the geological history, depressions and calderas were filled up with water-pools and, accordingly, with lacustrine sediments. Volcanic activity continuing at that time in the area of volcanic-tectonic depressions resulted in the formation of volcanic constructions different in shape and composition. Within the Uzon-Geyser depression, they were mostly extrusive acidic domes, within the Bolshe-Semyachikskaya structure, both composite volcanoes and extrusive domes were formed. Off the depressions' margins, large composite volcanoes Townshits and Kikhpinych were formed, as well as a number of smaller cinder and lava cones. Formation of the «post-caldera» complex covers the second half of the



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-Семячической 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



© Суяробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

9. Group of the Bolshoi Semyachik volcanoes. View from the southwest

Upper Pleistocene-Holocene, that is, about the last 40 thousand years of the geological history.

The specialty of that period was carrying out of volcanic material and its accumulation on the surface, which had its effect on the modern relief. It is the most prominent in the area of modern Bolshoi Semyachik, where pumice and ignimbrite masses together with the originated volcanoes (Zapadny and Vostochny Baranii, Popkova, Problematicny, Zubchatka), extrusive domes and lava flows occupied the caldera and its surroundings and formed the massif of Bolshoi Semyachik proper (photo 9). In sites, where volcanism evolved insignificantly in the form of small dacitic and rhyolite extrusions, their ring structure can be traced even nowadays. The example to that – Uzon Caldera. Destructive processes of water and glacier erosion strengthened the volcanic relief forms, having left deep grooves on the slopes of the highest composite volcanoes. Modern glaciers formed in such troughs can now be observed at the volcanoes Zubchatka and Kikhpinich (photo 10).

Рис. 1. Орогидрографическая схема и основные термопроявления Семячического 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 Семячической кальдеры и Узон-Гейзерной депрессии;

8 – современные термопроявления: 1 – Нижне-Семячические горячие и теплые источники, 2 – Средне-Семячические 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).

Fig. 1. Oro-hydrographical scheme and major thermal manifestations of the Semyachikskii geothermal region

Scale of altitude above sea level: 1 – 0–100 m; 2 – 100–500 m; 3 – 500–1000 m; 4 – 1000–1500 m; 5 – above 1500 m;

6 – precipices;

7 – erosion ledges of the Semyachikskaya caldera and Uzon-Geyser depression;

8 – modern thermal manifestations: 1. Nizhne-Semyachikskiy hot and warm springs, 2. Sredne-Semyachikskiy hot springs, 3. Steam-gas jets and thermal fields of the Central Semyachik volcano, 4. Steam-gas jets of the Buryashchii volcano thermal fields, 5. Thermal fields, hot springs, steam-gas jets, thermal lakes and pools of the Uzon caldera, 6 – Valley of Geysers, 8–10 – Thermal fields, steam-gas jets and fumaroles of the Kikhpinich-Zheltaya volcanoc massif;

9 – geysers;

10 – vast areas of heated ground with temperature above 20 °C at depth of 0.5–1 m;

11 – southern border of the Kronotsky State Reserve (marked red in the inset);

12 – the circuit of old foot track. Rectangle in the map – margin of the general map of the Valley of Geysers (see fig. 2).



10. Вулкан Большой Семячик (Зубчатка). В центре ледник Кропоткина  
10. *Bolshoi Semyachik volcano (Zubtchatka). In the center – the Kropotkin glacier*

The shapes of volcanic mountains are also accentuated by the valleys of the rivers deeply engraved into the plateau-like basement of the upland due to their swift current, high water-level (especially in the period of snowmelt) and, naturally, due to the relative «softness» of pyroclastic rocks composing the basement. Rivers are not too long, reaching just the first dozens kilometers in length. Two greatest water-ways are Stary Semyachik (47 km) and Shumnaya River (40 km). In the mid-flow, these rivers reach 20 m in width and up to 1.5 m in depth. The current speed is variable, being 2–4 m/s in the mid-flow and 0.5–1 m/s in the lower course. The rivers having steep and abrupt banks abound in rifts, chutes, small and large waterfalls. River valleys are 400–600 m deepened relative to the plateau surface, being 1 to 3 km broad, places of a valley get a kind canyon-like gorges.

Volcanic constructions serve a sort of an obstacle on the way of the water flow, and rivers seem to skirt large elements of volcanic-tectonic structures. Example – the rivers Stary Semyachik and Shumnaya. The first, beginning in the central part of a massif Bolshoi Semyachik, flows on northwest, then, turning on the West and a southeast and, bending around volcanic constructions, lays a channel on the ring fault limiting Bolshoi Semyachik caldera with southwest. The Shumnaya river in the upper course smoothly flows on

вулканотектонических депрессий и кальдер вулканизм 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 Кихпиньч (фото 10).

Очертания вулканических гор подчеркивают и долины рек, которые глубоко врезаны 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



11. Низовье стометрового водопада на р. Шумной выше слияния с р. Гейзерной  
11. *Lower part of the hundred-meter waterfall on the Shumnaya River, higher than the confluence point with Geysernaya River*

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 разлому, 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 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 ручьи Ключ Горячий, 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 увязывается с высотой местности. Прибрежные равнины занимают разнотравные луга, в долинах рек пойменные леса представлены

the leveled bottom Uzon Caldera, then through the southeast board of the Uzon-Geysernaya depression, it is broken by a fall almost 100 m in height (photo 11), and through a narrow gorge carries its waters into the Kronotsky Bay.

In the result of volcanic and hydrothermal activity, many streams and some rivers fed by thermal waters have increased temperatures, specific chemical composition and turbidity due to the increased content of dredges, sulfur in particular, that ingress into water flows during the erosion of altered clay rocks. This can be observed at creeks Klyuch Goryachii, Barmotina, Zheltyi, Kislyi, at the Geysrenaya River and others.

Though the hydrographical net is quite bushy, one can very seldom see streams and pools over the volcanic dale in the summertime, because snowmelt waters and rainfalls are absorbed by permeable porous deposits, and numerous in spring water-currents turn into the «dry» rivers. Large lakes are of the volcanogenic origin except the firth Semyachik. Cold shallow lake Centralnoye in the Uzon Caldera had inherited the former water pool, while the Dalnee Lake originated in a maar, within a crater of a single explosive eruption; its depth is about 25 m.

Distribution of vegetation is notably linked to the altitude of the region. Littoral plains are covered by motley-grass meadows, while in the river valleys flood-plain forests are presented by alder-trees, cedar elfin-woods and high grass. Slopes of volcanic highlands up to 600 m are covered by mostly Ehrmann's birches with some plots of cedar and alder elfin-woods usually jacketing upper slopes of river valleys (photo 12, 13). Higher up, at the volcano foot, a zone of bushes and elfin-woods with single meadows and mountain tundra can be observed. Watersheds of the highland and volcanic constructions themselves are characterized by poor vegetation. Most typical is mountain tundra with trailers of wild



© Суяробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

12. Stone birch (Ehrmann's birch) in the foreground and alder elfin wood at the slopes of the volcanic plateau



© Суаробов В. М. / Sugrobov V. M.

13. Долина руч. Безымянного

13. The valley of Bezymyanny Creek

rosemary, blueberries and moss-lichen herbage. It should be noted that rare species of flora occur in this area of the Kronotsky Reserve, namely the grove of the Kamchatka silver fir at the right bank of the Semyachik River mouth, and peculiar

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.

## Surface thermal manifestations

Peculiarity of local landscape, together with active and young volcanoes, consists in the existence of numerous and various thermal manifestations. All of them are in fact confined to three major areas of the development of recent hydrothermal activity: volcanic massif of Bolshoi Semyachik, Uzon Caldera and the Kikhpinych volcano. These centers of the observed hydrothermal activity refer to three hydrothermal systems: Semyachikskaya, Uzon and Geysernaya ones, grouped into the Semachikskii hydrothermal region.

So, what is a **hydrothermal system**? At present, this term defines areas of distribution of high-temperature ground waters within the limits of certain geological structures, heated by shallow magmatic chambers. Heat flow 40–100 times exceeds the average deep one typical for usual conditions. Water, heated up to 200–350 °C, is hydrostatically pressurized according to its depth and in most cases presents the liquid phase. Those are hydrothermal systems of the hot-water

## 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 массами 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 именуется парогазовыми. В гидротермальных системах это преимущественно выходы насыщенного пара, то есть его температура рав-

type. In vapor-dominated systems, vapor phase of water usually occurs, because pressure is not high enough to prevent steam formation in aquifers.

Water migration in the systems is on the one hand conditioned by hydrothermal pressure drop in the water-feeding zone (usually elevated areas of the relief, especially the foot of volcanic construction) and in the so-called discharge zones at the lowered areas. On the other hand, it is influenced by the difference between the density of heated and cool water masses. In hydrothermal systems of the first type, the pressure level of ground waters tops the relief marks, and the water therefore ascends to the surface along the fissures of the upper waterproof layer, and the discharge of ground waters occurs. Conditioned by decreasing pressure, high temperature waters in the discharge zone may boil at different depths, which leads to the surface outbreak of hot and boiling water springs, as well as to the emergence of geysers, steam jets, mud and water boiling pots and heating of the ground. Such a diversity of thermal manifestations is typical only for such hot-water systems as the Geysernaya hydrothermal system.

Let us consider the types of thermal manifestations.

**Water springs** – natural discharge of ground waters onto the surface. Depending upon their temperature, springs can be cold, warm, hot or boiling (water-steam), if water near the surface reaches the temperature above 100 °C, for which intensive steam emission is also typical. **Geyser** is a sort of a boiling spring. Springs can be ascending and descending. Ascending springs are formed by surface discharges of pressurized ground waters, while descending ones are the outflows of non-pressurized ground waters. By the nature of the discharge regime, springs are distinguished as permanent, altering or pulsating.

**Steam jets** – natural concentrated surface steam-outs, typically observed at elevated parts of the relief and often accompanied by gas emissions. In case of intensive gas emission, the jets are called steam-gas. Within hydrothermal systems, those are mostly discharges of saturated vapor whose temperature equals the boiling-point for the given altitude. Strong steam-gas jets, especially ones with temperature exceeding the boiling point (overheated steam) are sometimes called fumaroles, analogous to concentrated steam and gas discharges from the fissures within craters or at the active volcanoes' slopes.

**Mud pots** – small surface micro-relief craters filled with slurry presenting the mixture of surface waters with steam condensate and clay particles. Temperature of the mixture varies depending upon the ratio of surface water and steam ascending from the depth along the fissures. Frequently the temperature in them reaches the boiling-point, and in this case one can observe typical bubbling and splashing of slush from a usually drainless crater (photo 14). Mud pots are formed in the areas where rocks chemically decompose exposed to steam and transform into motley clays. Because of the varying volumes of surface waters penetrating into the pots, their state changes within one year. They are the most active, «hot» and «dry» late in summer. In winter and spring, pots are often filled with water of various turbidity and temperature.

Water pots, hot or boiling, actually present a sort of mud pots, whose sides are composed of solid rocks. There is no slurry in them, and water filling the pots is also a mixture of surface waters and steam condensate. Sometimes, several adjacent pots are joint by common water surface thus forming thermal lakelets and pools different in size and shape. Level and temperature regimes are seasonal and depend upon the volume of entering surface waters.

**Heated and steaming ground** is the upper ground layer, including soil, heated up to the temperature exceeding the temperature at the discharge of hot water and steam onto the surface. Surface temperature of such areas is quite unsteady and reaches the maximum of water boiling-point at a given altitude. Areas of the heated ground are distinguished by the temperature measured to the depth of 0.5–1 m, thus excluding the influence of yearly, seasonal and diurnal variations of air temperature and other external factors (e. g. precipitates, winds, etc.). Areas with the highest temperatures can be easily recognized by surface steaming, especially notable when the weather is calm and overcast; they are confined to the sites of immediate surface steam discharge. Steam and hot water outflows (steam jets, boiling water and mud pots, boiling springs and geysers) are often concentrated in the center of such areas. Less heated zones surround those active centers forming closed belts of temperature distribution. Heated ground is mostly presented by red or motley clays formed in the result of rock interaction with steam and hot water. Temperature zonality typical for heated ground areas is well traced by the surface nature. Zones with ground temperature below 20 °C at the depth of 1 m, gradually turning to usual «cold» soil, are



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

14. Twin mud pots in Geysers Valley – typical example of thermal manifestations of the bubbling mud pool type

на 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 краях 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 изменяющегося количества поверхностной воды, попадающей 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. Уровневый 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**. 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



15. Участки нагретого грунта хорошо выделяются по concentric зонности растительного покрова или его отсутствию

15. Areas of heated ground are well distinguished by concentric zonality of vegetation or its absence

covered by thick grass. Zones with temperatures of 50–70 °С and more at the depth of 1 m, are distinguished by open clay surface with separate spots of small grass and mosses (photo 15). Surface temperature here varies from 30 °С to almost boiling-point (in the areas of steaming ground). It should be noted that the phenomenon of heated and steaming ground is just as amazing, as boiling water and mud thermal manifestations, and can also be observed only in the areas of hydrothermal systems and active volcanoes.

**Thermal fields** are formed by groups of thermal manifestations, more or less closely located. Spatial location of thermal fields, their number, shapes, configurations, sizes and prevailing types of thermal manifestations are predetermined by the type of hydrothermal system, its capacity and peculiarities of geological structure. Having some common features due to the similarity of thermal manifestations, thermal fields still differ from each other by the prevailing development of one or several types of surface hydrothermal activity. Thus, in contrast to the Geysernaya hydrothermal system, thermal fields of the Semyachikskaya system (vapor-dominated) are notable in the way that major thermal manifestations here are powerful steam-gas jets, steaming grounds, mud and water boiling pots, without any springs of deep ground waters.

Thermal fields, along with peculiar shapes of volcanic relief and plants, create a unique landscape in the areas of each hydrothermal system of the region: Geysernaya, Uzon and Semyachikskaya ones.

## Thermal fields and hot springs of the Semyachiksky region

*Thermal manifestations of the Bolshoi Semyachik volcanic massif (Semyachikskaya system).* All thermal manifestations here are confined to a group of various volcanic constructions forming the Bolshoi Semyachik

massif. They are presently considered to be connected with a vapor-dominated hydrothermal system developed beneath the massif. Detailed characteristics of these thermal fields are given by V. I. Volodavets, V. V. Averiev and E. A. Vakin.

The most popular springs of the group, *Nizhne-Semiachikskiye Hot Springs*, are located at the South-Eastern foot of the Bolshoi Semyachik massif, 3 km inland from the Pacific shore and 14 km north of the Zhupanovo Settlement. First mentioned by C. P. Krasheninnikov, they were studied in 1933 and described by B. I. Piip. Hot water outflows occur at the head of a small valley. Running water forms a tiny brook that gradually turns into a deep typically mountain stream with lots of beautiful warm thermal waterfalls. Bathing under the streams of a warm waterfall is a real pleasure.

By its chemical composition, spring waters are hydrocarbonate-sulfate, magnesium-calcium with total mineralization of 1.6 g/l. Discharge water temperature is 49 °C, in the creek – 38–40 °C decreasing with the current. Flow rate of some springs reaches 5 l/s, that of the head-stream being about 70 l/s.

In the area of Nizhne-Semiachikskiye Springs (1 in fig. 1), there are some more thermal springs with lower temperature and mineralization: within the valleys of the Teply (Warm) and Limanny creeks, adjacent to the Goryachy Klyuch (Hot Spring); within the beach zone of the Kronotsky Gulf, between the outfalls of the Pervaya Rechka River and the Goryachy Klyuch creek.

*Sredne (Middle) Semiachikskiye Springs* are located in a bit flattened valley of the mid-current of the Stary (Old) Semyachik River, 2.5 km South of the Plosko-Kruglenky volcano top. The springs occurring on both sides of the river (photo 16), were discovered and described not so long ago (in 1984) by O. N. Egorov and Ya. D. Muraviov. The uppermost water vents were found on the left bank under a precipice presenting a part of an extrusion. From here, the springs can be traced down the river for about 350 m. A band of water vents is distinguished by the occurrence of green algae, whitish spots of new



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

16. Thermal waters discharge along both sides of the Staryi Semyachik river – Sredne-Semiachikskiye springs

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, магниевая с общей минерализацией 1,6 г/л. Температура воды на выходе составляет 49 °C, в ручье – 38–40 °C с уменьшением по течению ручья. Расход (дебит) отдельных источников 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 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 °C) 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 густа, 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 примерно

mineral formations and old travertines. Flow rate of the springs is not high, total discharge is estimated as 14 l/s, discharge of some springs being only 0.3–0.5 l/s; maximum temperature 98 °С almost reaches the boiling-point for the given altitude above the sea level (about 270 m). Water composition is chloride-hydrocarbonate-sodium with total mineralization of 1.1 g/l. Near the springs, there is a small house of the Kronotsky Reserve, and a path from the Semyachik silted estuary to the Burlyashchy (Bubbling) volcano and the Blue Dale.

*Thermal fields of the Central Semyachik volcano* (3 in fig. 1) occupy the North-Western part of the volcano covering its collapsed Northern crater and old Southern crater. Thermal manifestations are presented by mud and water boiling pots, small steam jets, areas of steaming and heated ground. Thermal field of the Northern crater extends almost over 500 m. It is intersected by a small streamlet dividing the surface and making the field look like a bit hilly plain. Landscape of this area seems perturbed and even supernatural. Brisk yellow spots of hydrothermally altered clays, randomly hazy due to white gas emissions with hydrogen sulphide smell, boiling water pots and total absence of plants seem strange against the background of vivid sides of the collapsed crater (photo 17, 18). One of the



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

17. Field of hydrothermally altered clays and lake Chernoe (Black) in the crater of the Central Semyachik volcano

elements of the thermal field is the famous «Black Lake», a pool sized 50 x 20 m, filled with hot water with boiling fountains rising above it. Water is black due to the presence of fine pyrite. In the Southern crater of Central Semyachik, hydrothermal activity manifests itself in heating some ground areas, where maximum temperature reaches 70–90 °С at the depth of 1 m.



18. Парогазовые струи (фумаролы) в кратере вулкана Центральный Семячик  
18. Vapor-gas jets (fumaroles) in the crater of the Central Semyachik volcano

Thermal fields of the *Burlyashchii (Bubbling) volcano* (4 in fig 1) the most expressively reflect nowadays' surface hydrothermal activity of the Semyachikskaya system. Most thermal manifestations are joined into two thermal fields. The first one is called Verkhnee, and is located at the left slope of the creek, which is the right tributary of the Old Semyachik River (photo 19). A 20 °C area at the depth of 1 m is 200 x 500 m in size. In contrast to other fields of the hydrothermal system, powerful overheated steam jets with the discharge temperature up to 137 °C can be observed here. The second field, called the Paryashchaya (Steamy) valley, is located in the broader part of the same creek valley and has more or less isometric shape, 250 m in diameter. The maximal temperature steam on the surface reaches the boiling point at the given altitude – 97 °C. Besides, the above thermal fields of Central Semyachik volcano, as well as the Burlyashchii volcano, and adjacent areas host warm, less often hot springs formed in the result of steam condensate mixing with surface waters. Such springs are distinguished for their usually low flow rate (0.2–0.5 l/s), low mineralization and acidic sulfate-sodium water composition.

It should be noted that the small house of the Kronotsky Reserve is located opposite the Verkhnee thermal field, at the left bank of the creek, as well as the footpath to the Uzon Caldera and the Blue Dale.

составляют 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 °C. 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 °C. 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 глубоких 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



19. Парогазовые струи (фумаролы) Верхнего термального поля вулкана Бурлящего  
19. Steam-and-gase jets (fumaroles) of the Upper thermal field of the Burlyashchii volcano

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 направления на расстояние 2,5 км. Наиболее характерные термопроявления – это разнообразие 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. Водоёмы, 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 максимальной до 10–20 °С. Общий вынос тепла термопроявлениями Узона – 268 МВт.

Многочисленные озера с различной температурой, паровые струи и источники, грязевые и

**Thermal manifestations of the Uzon Caldera (Uzon system)** (5 in fig 1) occupy the relatively flat bottom of its bowl-shaped basin 8 x 12 km in size. That bottom is 400–500 m lower than the volcanic plateau and its marks are 650–700 m. Hydrothermal activity is concentrated in the area of the Centralnoye Lake. First systematic description of the area had been given by B. I. Piip in 1934–1937, but was extended and updated later by G. F. Pilipenko, S. I. Naboko and G. A. Karpov. Thermal fields form latitudinal strike over 2.5 km. Most typical thermal manifestations are various hot and boiling water pools, occasionally joint by common water surface thus forming thermal lakes (photo 20) Fumarolnoye lake being the largest of them (300 x 600 m). Water surface of this and other lakes hides hydrothermal craters up to 100–150 m in diameter that can be clearly distinguished by different colors of water, if to look at them from some height. Most water mass of lakes and pools is formed by mixing of cold surface waters and steam condensate. Some lakes and pots serve as discharges for hot and overheated chloride-sodium ground waters, which can be defined by high outflow rates and, naturally, by means of chemical analysis revealing essentially chloride composition. Ability for mixing waters different in composition and temperature is a good ground for the diversity of water types observed at the surface – from chloride-sodium with mineralization up to 4 g/l, to hydrocarbonate-sulfate and sulfate-sodium. A Narzan-type source of mineral water is located at the foot of the Belaya (White) Mount.

Maximum temperature of thermal manifestations reaches the boiling point (about 98 °C), though many of them have



20. Кальдера вулкана Узон

20. Caldera of the Uzon volcano

temperatures from maximum to 10–20 °C. Total heat efflux in Uzon makes 268 MW<sub>t</sub>.

Numerous lakes, steam jets and springs, mud and water pools interleaving with spots of grass, cedar elfin woods and small spinneys of birches, all that at the background of the caldera sides' steeps, make this unique nook of Kamchatka picturesque and magnificent.

Not far from a small Bannoye thermal lake, one can find a field house that belongs to the Institute of Volcanology and the Kronotsky Reserve.

Thermal field and geysers of the Geysernaya hydrothermal system are further considered in details. So for now, let us just name them: geysers and major thermal fields of the Valley of Geysers (6 in fig. 1), Verkhne-Geysernoye field (7), springs of the upper Geysernaya River (8), thermal manifestations of the Zheltaya (Yellow) Hill (9) and those of the Kikhpinych volcano (10).

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), термомпроявления сопки Желтой (9) и вулкана Кихпинич (10).

## Общая характеристика Долины гейзеров

## General characteristics of the Valley of Geysers

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 поселке 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 левобережью 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



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

21. Old path to Valley of Geysers along the coast of Pacific ocean



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

22. The pass to the Valley of Geysers: Semyachik pass; Uzon Caldera and Valley of Geysers ahead. Right lower corner – V. V. Averiev



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

23. View of the Geysernaya river valley from its mouth to the upper course. In the background – volcanic massif Kikhpinich–Zheltaya

To see the geysers located along the lower Geysernaya River, one should approach them very close. The easiest way to do that is to take a helicopter, which is used by most visitors of the Valley of Geysers. It is also possible to get to the Valley of Geysers on foot by the tracks laid by the first (after T. I. Ustinova) researchers of geysers and tourists (photo 21). A route begins in the former settlement of Zhupanovo and passes through the Uzon Caldera (see fig. 1, photo 22). Now, tourists trips here are only possible in special cases by the sanction of the Reserv administration.

But we are taking the rout T. I. Ustinova had chosen undertaking her second expedition to the geysers, that passing from the upper Geysernaya River and down it, thus having an opportunity to get acquainted with the river basin and the vicinity of the Valley of Geysers.

Geysernaya River originates at the Southwestern slopes of the complex Kikhpinich-Zheltaya volcanic massif (photo 23). Glancing at the map of the area, you can see that the river resembles the Latin letter S whose axis is stretched and directed South-West (fig. 2). The river is about 12 km long, altitude differential being almost 750 m given the average incline of 0.06. The river basin occupies area of about 40 km<sup>2</sup>; flow rate at mean water makes up to 1.5–2 m<sup>3</sup>/s increasing significantly in the periods of snowmelt and rainfalls. For example, in 1981 due to the intensive precipitation connected to cyclone «Elza», rise of a water level in the river on 2.5–3 m took place, and the flow rate (by calculation) reached 15–20 m<sup>3</sup>/c. The river is widest at its mouth where its minimum speed about 0.6 m/s and depth (0.5–0.6 m) is observed. In fact, the depth changes depending upon the width and incline of a certain site; but it seldom exceeds 1–1.5 m, the speed reaching 1.5–2 m/s. Riffs and waterfalls can be observed all over the river.

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. Прозрачный, 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 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. Четырем 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 туфолоавы 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 (или 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 прокладывают свой путь, слабо врезааясь в поверхность подножия массива Кихпинич–Желтая. Исключение составляет руч. Голубой. Но уже ручей 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 рр.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

Five brooks, originating at the Kikhpinych volcano slopes and joint into one torrent at the foot, form the Levaya (Left) Geysernaya river. V. I. Semeonov gave names to four of the creeks. The right brook – Prozrachny (Clear), or the Fourth one collects its waters immediately from the Kikhpinych volcano slopes. Its waters are cold and pure, mostly due to the melt of snowfields. At the mouth, the brook becomes full, resembling a mountain river, pierces tuff-lavas, and forms a shallow gorge, whose picturesque view prompted V. L. Leonov to name it Colorado (photo 24). The Prozrachny brook is often called the Geysernaya River itself.

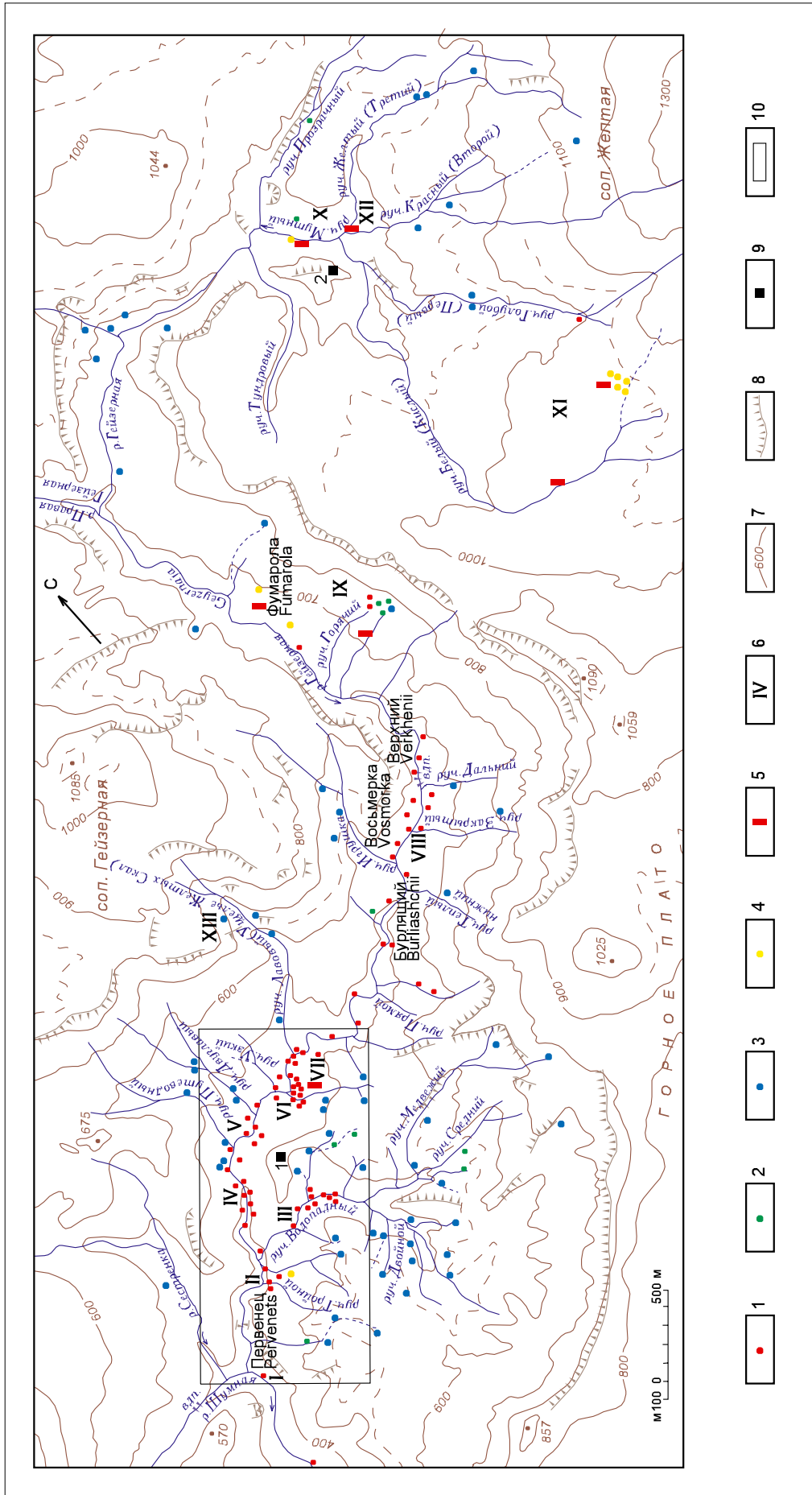
The other four brooks run over the Western and North-western slopes of the Zheltaya Hill. One of them is the Zheltyi (Yellow), or the Third brook. In its lower course, it crosses fields of hydrothermally altered rocks, for which presence of native sulfur is typical. Such «sulfurized» plots create the yellow background of the streambed, reflected in its name. The mouth area of the Zheltyi brook is now known as the Death Valley (XII in fig 2). The next brook – Krasnyi (Red), or the Second one, is notable for small descending cold springs depositing red iron oxides over its basin. The Goluboi (Blue) or the First brook fills a deep bow-shaped crevice at the South-western slope of the Zheltaya Hill, and occasionally runs over the spots of blue hydrothermal clays. Finally, the left and the southernmost brook is called Bely (White) or Kisly (Acidic). At its upper course, gas-steam jets are located, as well as mudpots whose sides are banded by sulfur deposits. Running from numerous pots, water with tiny clay and sulfur particles enters the stream thus increasing its turbidity and giving it a whitish color. Down the confluence point of the above creeks, over the banks of the high-water dimmed torrent known as the Mutny (Turbid) brook, thermal manifestations of the so-called Zapadno (Western)-Kikhpinych thermal field can be observed (X in fig. 2).

The mentioned brooks make their way slightly carving the surface of the Kikhpinych-Zheltaya massif foot. But the Prozrachny brook, and then the Mutny one incise into the volcanic plateau to 50–70 m forming narrow gorge-like



24. Долина ручья Прозрачного (Колорадо)

24. Valley of the Prozrachnyi brook (Colorado)



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 Верхний (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 прирусловой части выполаживаются. 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



25. Река Гейзерная, низовье водопада Трехкаскадного

25. Geysernaya river, lower part of the Trekhkaskadnyi waterfall

valleys, one of which – Colorado – was mentioned earlier in this paper.

The deeper Prozrachny brook suppresses the Mutny one by its clear water, and further on, after their junction-point, water of the Left Geysernaya River is pure all over its course. Here, the river goes straight westwards along a narrow (200–300 m) canyon, whose sides rise 100–150 m above the river. This sector of the river is 900 m long. After confluence with the Right stream, the river turns South-West making its way for more than 1 km in a straightened channel. The river valley

**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

**Fig. 2. General map of the Valley of Geysers area:**

- 1 – geysers, boiling and hot springs (temperature above 70 °C);
- 2 – hot and warm springs (temperature 20–70 °C);
- 3 – springs with water temperature below 20 °C;
- 4 – hot mud and water pots;
- 5 – steam-gas jets;
- 6 – characteristic thermal sites and notable places of the Geysernaya river valley: I–VIII – thermal sites (see also fig. 5); IX – Upper-Geysers thermal field; X – Western-Kikhpinich thermal field; XI – Southern-Kikhpinich thermal field; XII – Death Valley; XIII – precipices of pumice tufts Yellow Cliffs and cold springs (bedded discharge of cold ground waters);
- 7 – relief isolines;
- 8 – precipices, ledges of the Geysernaya river valley;
- 9 – ranger's houses: 1 – in the Valley of Geysers, 2 – in the upper course of the Geysernaya river



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

26. Верхняя часть водопада Трёхкаскадного и гейзер Верхний  
26. Upper part of the Trekhkaskadnyi waterfall and the Verkhniy geyser

gradually gets broader and deeper, reaching the sizes of 800 and 200–250 m, correspondingly.

At the end of the previous sector, confluence of the Left and Right Geysernaya rivers occurs, which naturally increases the flow rate. The river turns south and keeps to that direction for about 2.5 km, running along the widening valley. Left side of the valley is much broader. It starts from the steep slopes of the Mountain Plateau, inaccessible for climbing, and then smoothly lowers toward the river-bed. This is most clearly observed at the area of the Verkhne (Upper)-Geysernoye thermal field (IX in fig. 2). The right side, in contrast, presents steep slopes right up to precipices rising up to 70–100 m above the river itself and gradually elevating to the tops of the Geysernaya Hill. Here, the Geysernaya river has a meandering channel, with sharp turns and depth up to 350–400 m with respect to the Mountain Plateau.

Further down, the river turns Southwest again, and runs in this direction for about 1.8 km. Notable features of the Geysernaya valley here are three waterfalls following one another and forming a single, «three-stage» waterfall 29 m high, as well as the first geysers at the upper course of the river (photo 25). At the upper edge of the waterfall the Verkhniy v Rusle geyser periodically operates, while a bit lower, at the right bank, one can observe more stable activity of the Verkhniy geyser (photo 26). This is the place, from which the Valley of

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 Кихпиныч, вытянутый с северо-востока на юго-запад почти на 8 км, сопка Гейзерная и плато Круглое (правый борт) и Горное плато (левый борт). Массив Кихпиныч состоит из нескольких вулканических сооружений. Самый молодой действующий вулкан Кихпиныч, представляющий собой два базальтовых конуса: Западный и Савича. Последний выделяется четкими линиями правильного конуса. Южнее расположен потухший стратовулкан – Старый Кихпиныч, 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 постройка вулкана Старый Кихпиныч выглядит не менее живописно, чем стройный конус молодого Кихпиныча, благодаря главной его вершине и всему массиву остростолбчатой 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 Кихпиныч знаменит современными гидротермальными проявлениями, много превышающими по мощности и облику слабые фумаролы



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

27. Staryi Kikhpinych, the Peak Mountain. In the foreground – Death Valley (the month area of the Zheltyi creek)

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 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 ручья 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.

Geysers starts (if to approach it from the upper course of the Geysernaya River), and where it ends (if to take the opposite direction).

At the place where the Igrushka (Toy) brook runs into the Geysernaya river, its both banks become flattened and the valley gets narrower (1–1.2 km). Here the river is to the greatest extent (500 m) «incrusted» into the surrounding Mountain Plateau and the Geysernaya Hill.

After the inflow of the Stupenchaty (Stepped) brook from the left, the Geysernaya river turns Northwest at a right angle, and passing 300 m takes general western direction with some small changes at separate short plots. Further on, the river runs Southwest for 1.5 km, and flows from the right into the Shumnaya (Noisy) river. The last 2.5 km long part of the Geysernaya river forms the central area of the Valley of Geysers that will be in detail described below. The basin of the Geysernaya river here reaches its maximum width of about 3 km. The left bank is much broader than the right one and has the shape of a cirque-like valley whose surface is wrinkled by numerous tributaries of the Vodopadny (Waterfall) brook dashing down as a beautiful warm waterfall 110 m prior to entering the Geysernaya river.

Main tops of the Geysernaya river basin are the Kikhpinych volcanic massif stretching from Northeast to Southwest for almost 8 km, the Geysernaya hill, the Krugloye (Round) plateau (right side) and the Gornoye (Mountain) plateau (left side). The Kikhpinych massif consists of several volcanic constructions. The youngest active volcano is Kikhpinych presenting two basaltic cones: Zapadny (Western) and Savich, the latter notable for its regular shapes. To the South, an extinct strato-volcano of Stary (Old) Kikhpinych is located, whose symbol is the Peak mount; and a dacitic volcano named the Zheltaya (Yellow) hill. The Savich cone 1 552 m high, hosts a small crater 60 m in diameter and 30 m in depth. Poor fumarole activity is recorded within the crater and over its edge. Recent lava flows clearly distinguished against the modern relief stretch Northward, whereas to the East one can see and effusive dome named Crab. Like a well-proportioned cone of the young Kikhpinych volcano, the ancient edifice of Stary Kikhpinych looks quite picturesque due to its main top presented by a pointed Peak mount, with the height of hardly more than 1 600 m (photo 27). The massif and its southern ending are decorated by the Zheltaya hill, allocated from afar by the soft outlines of slopes and yellow color of hydrothermally altered rocks composing the hill.

Left bank of the Geysernaya River present steep slopes of the Mountain plateau, whose ringes have marks of 800–900 m. Some separate tops, 1 050–1 090 m high, present, in geological respect, dacitic extrusions, for example, the Bortovaya (Board) extrusion. A large central part of the left bank refers to steep but equally descending slopes of the Geysernaya hill (1 085 m high), with the exception of a small plot of the Lavovy brook lower course, where magnificent precipices of pumice tuffs called Yellow Rocks can be observed.

Stary Kikhinych is famous for its modern hydrothermal manifestations surpassing weak fumaroles of the Savich cone in power and appearance. The main thermal field is confined to the crater of the Stary Kikhinych located almost in the center of the Kikhinych massif. Steep, occasionally abrupt sides freaked by numerous surface flows make the crater hard-to-reach. At the same time, a bit fantastic and queer shapes of the microrelief and light-yellow rocks composing the crater walls fashion this part of the volcano quite peculiar and attractive. The crater has a cross size of about 1.5 km, depth of almost 600 m and edge height of about 1 400 m above the sea level. Atmospheric precipitates accumulating in the crater form small streamlets that merge at the eastern eroded wall forming the Kisly (Acidic) brook (photo 28). Thermal field of the Kisly creek is also called the Field of Eastern-Kikhinych Steam jets (10 in fig. 1).

Hydrothermal activity is mostly concentrated in the northern part of the crater where separate small thermal fields are distinguished. Vapor-gas jets occur here, with maximum temperature close to the boiling-point for this altitude (97 °C). At one of the sites, within a narrow gorge at the left slope of the Kisly brook upper course, two powerful steam-gas jets can be observed. Numerous thermal «springs» have small flow rates, because all of them are the result of vapor condensate mixing with atmospheric precipitates. Water temperature widely varies; the water has typical sulfate-sodium composition and unpleasant taste with a slight smell of hydrogen sulfide.

Other sites of the Kikhinych hydrothermal activity refer



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

28. Field of hydrothermally altered rocks in the upper course of the Kislyi creek

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 (XII 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 °C и из-за примеси соединений серы – темно-серый цвет (ист. Черный). Неподалеку находится парогазовая струя с температурой 93 °C и нисходящий источник с температурой воды 75 °C. 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 высококотемпературных термопроявлений. Характерным здесь являются выходы газа (температура 19 °C) и прогретые участки грунта с температурой



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

29. Thermal ground – the Tchernyi spring on the left side of the Mutnyi brook. In the background – extrusion of the Zheltaya hill

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-Кихпинчевские паровые струи и сопутствующие им другие виды гидротермальной активности. Термальное поле расположено на правом берегу 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.



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

30. South-Kikhpinych thermal field. In the distance – Bolshoi Semiachik

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, расположенных ниже по ее течению, мы вернемся при описании Долины гейзеров. Но прежде дополнительно остановимся на характеристике упомянутой выше термальной площадки Долины смерти.

to the Zheltaya hill and its western foot, being located already within the Geysernaya river basin. In the group of separate thermal manifestations at the lower course of the Zheltyi (Yellow), Krasnyi (Red), Goluboi (Blue) and Mutnyi (Turbid) brooks, also known as Western-Kikhpinych Steam vents, singled out are the sites within the Mutnyi creek valley and the Death Valley (XII in fig. 2). Thermal area of the first site is located at the left bank of the Mutnyi brook, about 200 m up its confluence point with the Prozrachnyi brook (photo 29). Typical thermal manifestation is a small water pool with intensive surface gas emissions having the smell of hydrogen sulfide. Water has temperature of 54 °С and dark-grey color due to admixtures of sulfur compounds (the Black spring). Not far off, there is a 93 °С steam-gas jet and a descending spring with water temperature of 75 °С. In small deepenings it is possible to easily find yellow congestions of native sulfur. Thermal ground of the Death Valley is located at the mouth of the Zheltyi brook and differs from the others by the absence of high-temperature thermal manifestations. Here, typical are gas discharges (19 °С) and heated grounds with the temperature slightly above 20 °С. The area is well recognized by its yellow surface due to accumulation of native sulfur, especially of the so-called sulfur knolls. Peculiarities of this thermal field are considered below.

The largest and the most effective thermal manifestations of this area of the Zheltaya hill are the Southern Kikhpinych Steam jets and other types of hydrothermal activity attributed to them. The thermal field lies at the right side of the Belyi (White) brook upper course (photo 30). Here, thermal sites with numerous small mud (as a rule bubbling) funnels and pools whose temperature reaches 96 °С, occur over the area of 170 x 400 m. They are mostly distributed over the basin and along the banks of two streamlets entering the Belyi brook from the left. Water pools are colored yellow-green due to admixtures of sulfur whose deposits are especially notable around the holes discharging vapor and gas. Many pools are filled with white clayey substance with the surface bubbling from gas and vapor emissions. On can also observe

tiny white and yellowish mud volcanoes. Like at the other thermal fields, slight smell of hydrogen sulfide is felt.

To complete the picture of the Zheltaya hill hydrothermal activity, we should note warm springs located at the confluence points of the Prozrachnyi and Mutnyi brooks. In the basin of the first brook, over the Colorado gorge, a 37 °С spring is reported, and 150 m below their confluence point, at the left bank of the Geysernaya river, there exist several springs with the temperature of 27 °С (Neozhidannye (Unexpected) springs). The uppermost water outflow is located 60 m above the river brink and is well distinguished by rust-red color of the streamlet basin due to iron oxides precipitation from the water. Further on, when describing the Valley of Geysers, we shall in detail consider other thermal manifestations of the Geysernaya river basin, located down its course. But first let us characterize the above-mentioned thermal area of the Death Valley.

## *The Death Valley and the causes of animals' death in the upper course of the Geysernaya River*

In 1974, a great number of dead animals and birds were found beside the Southwestern foot of the Zheltaya mount, at the absolute mark of 850–900 m, within the basin of the Zheltyi brook that is a left tributary of the Geysernaya river. Positions in which animals were found pointed to the suddenness of their death. There is nothing gloomy or dangerous in the picture of this valley. In contrast, a tired tourist would be anxious to come down the quiet river and have a little rest here. Perhaps, the same feeling draws animals to this place. According to the reports of the members of the Kronotsky State Reserve, the following animals perished in the Death Valley for the five years' period (1974–1979): 13 bears, 3 gluttons, 9 foxes, 1 hare, 86 mice, 1 sea-eagle, 19 ravens and more than 40 small birds. Continuous monitoring of the area revealed that the period when animals die in most cases coincides with the period of snowmelt that lasts here from May till the middle of July.

Members of the Institute of Volcanology FEB RAS, V. L. Leonov and V. A. Voronkov paid attention to thermal spring vents in the area of the Death Valley. Free gases of these springs contain much carbon dioxide with some admixture of hydrogen sulfide. Accumulation of carbon dioxide over the lowered areas of the valley was suggested as the reason for animals' death. Similar cases have also been reported at other areas of volcanic activity. So, the Dead Canyon is known near the Yellowstone National Park, where dead grizzly bears were found. Suffocated wild boars and other animals were seen near discharges of carbonic gas jets (mofettes) in the Death Valley at the Java Island. In all the instances, the cause of death was considered carbon dioxide accumulating at the relief lowerings given the absence of convective air mixing.

The Kikhpinch volcanic massif to which the Kamchatka Death Valley is confined, is now at the stage of fumarole-solfatar activity. Young Savich cone with an active fumarole at its near-top zone rises at the Northeastern part of the massif. Over the solfatar fields of the Southern and South-western slopes of the Kikhpinch volcano, composed of multicolor clay-alunite rocks with sulfur veinlets, one can observe numerous steam-gas vents in whose composition  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$  prevail, containing also  $\text{SO}_2$  and other gases. At the same time, the Death Valley lies in the area of a deep fault stretching westward across the Uzon Caldera, whose hydrothermal system is known as a sulfide

## *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 – мoffett 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 Кихпинич, 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 сольфатарных полях южного и юго-западного склонов вулкана Кихпинич, сложенных разноцветными глинисто-алунитовыми породами 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. %

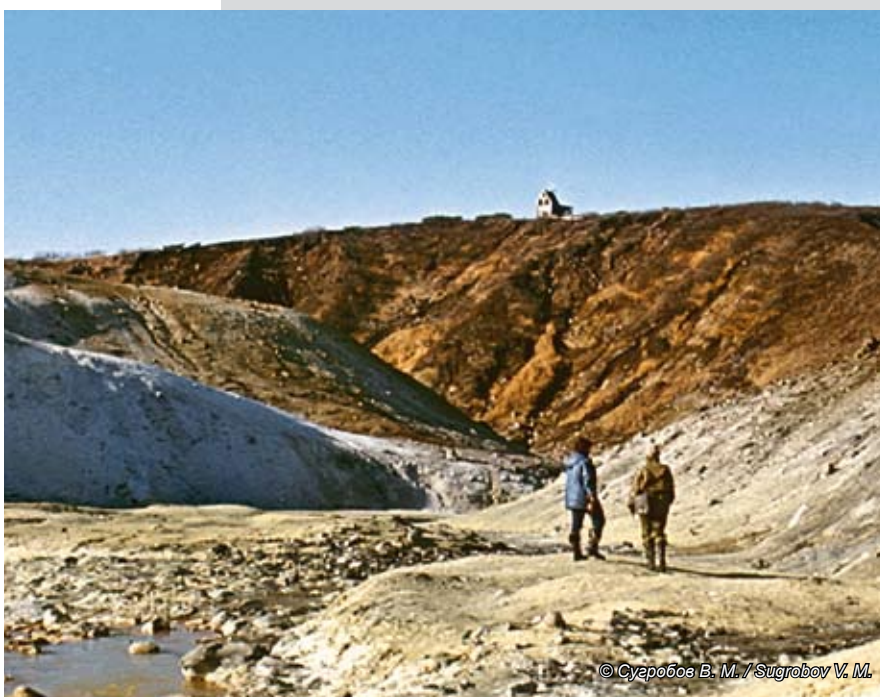
Участок, где наблюдается гибель животных, приурочен к довольно узкой долине протяженностью не более 2 км и шириной от 100 до 500 м. На этом участке выделяется площадка размером 100 x 30 м, где чаще всего обнаруживают погибших зверей и птиц. Площадка находится на нижней валунно-галечниковой террасе ручья высотой 0,5–0,7 м. Борта ручья сложены измененными до глин 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

one, with up to 8 vol. % of hydrogen sulfide in the composition of free gases.

The zone where animals die is confined to quite a narrow vale not more than 2 km long and 100–500 m wide. Here, a 100 x 30 m ground is singled out, where dead animals and birds are found most often. The ground is located at the lower boulder-pebble terrace of a stream 0.5–0.7 m high. The stream sides are composed of altered to clay rocks with abundant inclusions of sulfur (photo 31). Deposits of almost pure native sulfur occur at the heads of the streams running onto the ground from the East. Boulder-pebble bottom of a shallow streamlet is practically all over covered by the white film of colloidal sulfur. Up the stream, at its left bank, strongest leaching of sulfur-bearing rocks takes place, caused by sulfur oxidizing by carbothionic bacteria reducing the pH level of solutions to values far below 2. Down off the zone of animals' death, the acidic stream conflues with a flow of snowmelt waters, and abundant iron oxides are deposited over its bed. Further down the stream, at its both sides, hydrogen-sulfide-smelling mofettes also occur, but only some single bird bodies were found here.

Immediately in the Death Valley, oxidizing activity of carbothionic bacteria is suppressed, and their concentration in sulfur samples collected in August, 1982 made up only 103 cells/g, that is, a few orders below that usual for sulfuric acid leaching conditions. Poor development of bacterial processes of sulfur oxidation at this area, as well as the presence of hydrogen sulfide in mofettes gases, hinted to its dramatic role in causing death of animals here. Remaining in the environment enriched in hydrogen sulfide, bodies of animals and birds did not putrefy for quite a long time. In 1978, members of the Kronotsky Reserve took the dead bodies away from the area in order not to attract other animals. At the be-



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

31. Термальная площадка Долина смерти

31. Thermal ground the Death Valley

Таблица 1. Состав воздуха и спонтанных газов в Долине смерти  
Table 1. Composition of air and spontaneous gases in the Death valley

Анализ Analysis	Номер пробы Probe number	Дата отбора Sampling 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; 2107 – то же на высоте м над землей; 2103, 2105 – горячий газ из провала в серном бутре; 2106 – воздух из трещинной зоны, где образуется сульфид железа; 2104 – спонтанный газ источника в русле ручья. Анализ 1–6, 8, 10 выполнены на хроматографе «Газохром» (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.

Note. Sampling sites: 1 (10/79) – air, 0.5 m above the ground at the plateau of animals death; 2 (10/79) – the same, 1 m above the ground; 3 (11/79) – a gryphon at the left bank of the Geyseryaya River, 0.8 below the plateau; 4 (12/79) – a gryphon beside the site 11/79; 5 (2101) – air near the ground surface over the plateau of animals death; 6 (2107) – the same, 1 m above the ground surface; 7 (2103) and 8 (2105) – hot gas from a hole in a sulfur hillock; 9 (2106) – air from the fissure zone where iron sulfide is formed; 10 (2104) – spontaneous gas of a spring at the stream mouth. Analyses 1-6, 8, 10 were made using a «Gazokhrom» chromatograph by N. Ya. Nepomnyashchaya; analyses 7 and 9 – using mass-spectrometer of the MI-2101 type, by Yu. M. Miller. Dash – below detection level – not found in gas probes with presence of oxygen; hydrogen sulphide is unstable and completely oxidizes up to elemental sulfur. That is why, though abundant at the Death Valley area, hydrogen sulfide was not analytically justified in the air probes analyzed 1.5 months after sampling.

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, почувствовав 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 различны. 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 окклюзированных (поглощенных при образовании) газов в двух образцах самородной

ginning of May, 1979, during a regular inspection of the Death Valley, a dead fox was found here. Judging by its tracks that were seen on the fresh snow, the fox came down to the stream and died all of a sudden. A dead snow-bunting was lain before her. At that place, over the snow-covered stream, a collapse gap had appeared, forming a sort of a well. Getting down into the well, we smelt hydrogen sulfide and, feeling giddiness and tachycardia, we put on our respirators.

Air sampled 10–15 cm above the stream water contained 21.23 mg/l (1.41 vol.%) of hydrogen sulfide and was quite poor in oxygen (table 1, probe 10/79); while 50 cm above the water, hydrogen sulfide amounted 10.2 mg/l (0.69 vol.%). 105.4 mg/l of hydrogen sulfide was determined in the cold stream water, and all the stones within it were covered by a thick film of colloidal sulfur. Snow around the «well» was also saturated with hydrogen sulfide. In Autumn, 1979 we found the stream dried out, no sulfur sediment on stones and no gas jets or degassing springs around. However, air beneath the sulfur knolls contained the same high concentrations of hydrogen sulfide. The latter was not found in the air at open ventilated spaces.

Having examined the Death Valley in August, 1981, at the time of complete removal of snow and strong winds blowing the valley through, we did not find any new signs of death of big animals. However, along the fissure zones of gas supply, dead mice and small birds were discovered again. Gas vents were especially marked by hundreds of dead insects. Deep black color of the wall-rocks due to accumulation of iron disulfide indicated the supply of hydrogen sulfide along those zones. 1.3 vol.% of  $H_2S$  was determined in the air probe (80 ml) pumped out using a rubber pump from such a zone into the charger with cadmium acetate (parallel to the probe 2106). However, hydrogen sulfide was not detected in two air samples collected at the same site using electric pump (pumping 30 l of gas through a 500 ml vessel for 1 hour), which is probably due to its consequent oxidation. Probes 2103 and 2105 collected at the same site and analyzed in different labs, as well as probe 2106, showed some excess of oxygen relative to the air ration of nitrogen and oxygen, which is likely to be associated with the supply of oxygen and nitrogen with ground atmospheric waters. When contacting with hot gas streams, water degassing takes place, and, accordingly,  $N_2/O_2$  ratio in the gas outflow changes, because solubility (and contents) of nitrogen and oxygen in water are notably different. Similar phenomenon had been reported earlier, for example, at the Ebeko volcano.

To test the hypothesis on the possibility of gas generation by the mass of sulfur deposits when heating, occluded (absorbed at the formation) gases were analyzed in two samples of native sulfur collected from a sulfur knoll in the area of animals' death. Table 2 shows that the composition of the resulting gas is to some degree intermediate between usual air and free gas probes from the springs of the Death Valley. Such a composition was likely formed in the result of diffusion of fumarole gases and atmospheric nitrogen and oxygen into the sulfur body. Notable is the presence of sulfur dioxide and carbonyl-sulfide (COS) in occluded gas compo-

Таблица 2. Состав окклюдированных газов (об.%)

Table 2. Composition of occluded gases (vol.%)

Номер пробы 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) 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)

*Note:* Probes were analyzed using mass-spectrometer of the MI-1201 type. Total amount of gas was determined using the air standard. Analyst Yu. M. Miller (Institute of Microbiology RAS, Moscow)

sition, which had been reported in 1960 by L. A. Bosharina, and carbon disulfide never before detected at volcanoes. Thus, along with rather high contents of carbon dioxide, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, COS and CS<sub>2</sub> were found in the air of the Death Valley. They refer to the substances pernicious for the central nervous system: 0.1% of H<sub>2</sub>S in the air causes serious poisoning and extremity paralysis in animals; 0.2 % of sulfur dioxide causes loss of consciousness and fainting; 0.5 % of CS<sub>2</sub> affects the central nervous system and other organs. However, results of inhaling do not show up immediately; toxic effect of COS is similar to that of H<sub>2</sub>S, but it also acts slowly.

It should be taken into account, that in August, 1981, air probes were collected at a strong wind ventilating the valley. Evidently, in calm weather, concentrations of heavy and toxic components (CO, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, COS and CS<sub>2</sub>) in the near-ground air would be much higher. Formation of stable stratification of gas strata with quite different compositions (the so-called «chemical meromixy») is due to the peculiarities of local microrelief and weather conditions. This phenomenon in the Death Valley was most probably triggered by the inversion of atmospheric temperature during the snowmelt, which is followed by accumulation of carbonic acid and sulfur compounds in the near-surface air.

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<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, COS, CS<sub>2</sub>. Они относятся к веществам, губительно действующим на центральную нервную систему: 0,1 % H<sub>2</sub>S в воздухе вызывает тяжелое отравление и паралич конечностей у животных; 0,2 % двуокиси серы вызывает потерю сознания и обморок; 0,5 % CS<sub>2</sub> поражает центральную нервную систему и другие органы. Но последствия вдыхания появляются не сразу; COS по токсическому эффекту сходен с H<sub>2</sub>S, но действие его проявляется медленнее.

Следует учесть, что в августе 1981 г. пробы воздуха отбирали при сильном ветре, продувающем Долину смерти. По-видимому, в безветренную погоду концентрации тяжелых и токсических компонентов CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, COS и CS<sub>2</sub> 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.

## Климат, растительный и животный мир

## Climate, flora and fauna

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, сохраняет 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 Кихпиньч–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 тысячеметровой 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 ра-

Climate of the considered territory is conditioned by its location close to the Pacific coast of Kamchatka, for which typical is active cyclonic activity and changes of atmospheric circulation above the continental part and adjacent waters of the Pacific Ocean. Different degrees of air heating above the ground and ocean result in the abundance of atmospheric precipitates, cloudiness and high humidity, especially for the coastal areas. Located almost 40 km inland and 600–1 400 m above the sea level, the Valley of Geysers is characterized by even greater differences in air temperature and lesser cloudiness. Total rainfall reaches 2 000 mm yearly, most of which falls on winter periods. Annual air temperature is close to 0 °C, August being the warmest month, January – the coldest one. Given the duration of winter (snow covers the valley at the beginning of November and melts at the end of May), it is still mild, without nipping frosts. In autumn and early winter, the Valley of Geysers is influenced by cyclones accompanied by strong Southeastern and Northwestern winds and abundant precipitation. Summer is short (early July – mid September), cool and damp which leads to preservation of snow over the tops and micro-lowerings of the relief all year round.

Flora of the Geysernaya river basin mirrors all the peculiarities of the volcanic dale flora of Eastern Kamchatka. In the upper basin, over the slopes of the Kikhpinych-Zheltaya volcanic massif (above 1 000 m), vegetation is presented by pure spots of small shrubs of Ericaceae (mostly elfin-woods like rosemary and mountain cranberries), moss and lichen. Slopes of the river valley below the 1 000 m mark are almost all over turfed and covered by alder and cedar elfin-woods. In the middle and



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

32. Ehrmann's birch having taken roots beside high-temperature grounds in the center of the Valley of Geysers

lower parts of the valley, at the height below 700 m, individual stone-birches or even their small spinneys appear in the plant covering (photo 32). For this zone, characteristic is growth of underbrush typically presented by ashberry, dog-rose and honeysuckle, as well as blooming sally, cow-parsnip, groundsel, shavegrass, damsons, ferns, and others.

Hydrothermal activity does not affect general picture of vegetation in each landscape zone. However, peculiar verdure groups are formed in certain sites of thermal manifestations. These groups are distributed in separate zones in the middle of which, open area is observed due to high temperature of the ground (40–100 °C). Mosses filmed by blue-green algae grow over the periphery of such zones, and finally, a band of wormwood that is occasionally surrounded by high grasses as it is seen in the middle and lower parts of the Geysemaya river basin. Immediately at the thermal grounds near water flows and various hot water pools, thermophilic algae and bacteria develop, as well as some species of flowering plants (photo 33). Abruptly changing temperatures and ground compositions here give rise to the formation of brisk and mosaic diversity of flora species.



33. Цветковые растения соседствуют с термоявлениями  
33. Flowering plants neighbor thermal manifestations

In spite of the limited territory of the Geysemaya river valley, typical representatives of the Kronotsky Reserve fauna can be met here. In early spring, at the snowy slopes of the valley, there appear brown bears hurrying down to thermal grounds covered by some vegetation. Lepuses inhabit practically all the territory of the valley. A lucky visitor can see a wild deer at the slopes of the Kikhpinych-Zheltaya massif. Their small groups sometimes appear here, migrating from the east coast to extensive spaces of the volcanic dale of volcanoes Uzon and Unana. Foxes and various field-mice often scurry about the area. As for the birds, we should name willow grouses, cedarbirds, different tomfits, chiffchaffs, wagtails and some others. Naturally, in the period of migration, the number of species considerably grows up, and many other birds can be met in the area, for instance, bramblings and woodcocks-berry-pickers. Notable is also the diversity of insects yearly inhabiting thermal grounds and areas near water pools and vents of hot water, where they can always find food and favorable living conditions.

стущие 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, хвоши, черемша, папоротник, щитовник и др.

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 °C) наблюдается открытая поверхность. По краевым частям последовательно развиваются мох, фимбристилис, 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 Кихпинич–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 полевков. Среди птиц встречаются белые куропатки, особенно в верховье бассейна, кедровки, разнообразные синицы, пеночки, трясогузки, по берегам ручьев кулички, иногда попадают каменухи. Разумеется, в период пролета птиц разнообразие видов увеличивается и случайно можно наблюдать многих других птиц, например юрков, куликов-ягодников в верховье 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 рис. 33 показана упрощенная схема геологического строения бассейна р. Гейзерной. Протекая по восточному краю Узон-Гейзерной вулкано-тектонической 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, игнимбритами. Его формирование связано с мощными взрывами, которые непосредственно предшествовали образованию вулканотектонической депрессии. Возраст отложений этого комплекса определен радиоуглеродным методом по почве, погребенной под игнимбритами 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,

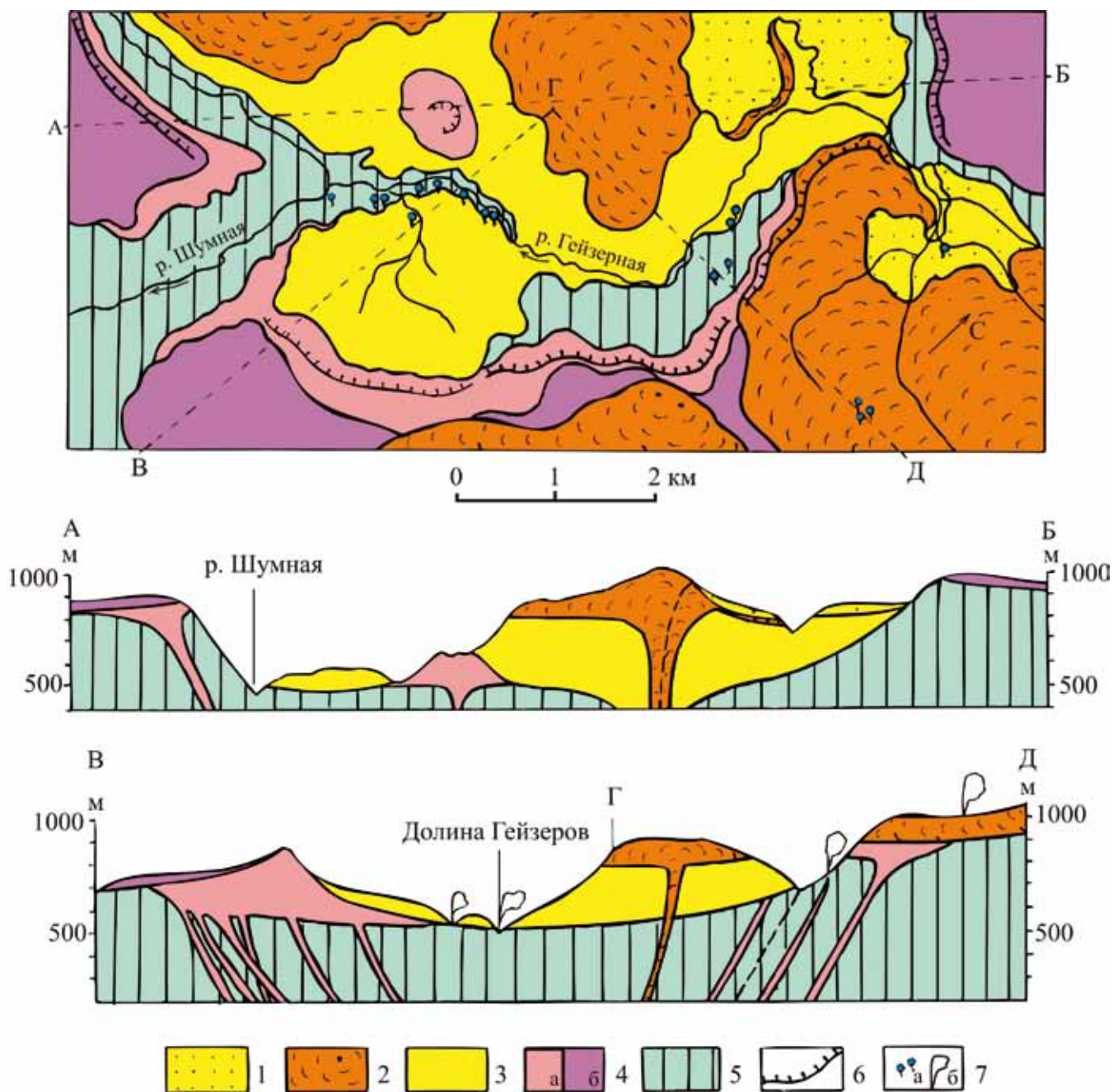
## Geological structure and history of the Valley of Geysers

Figure 33 shows a simplified sketch of the geological structure of the Geysernaya River basin. Running over the eastern margin of the Uzon-Geysernaya volcanic-tectonic depression (its location can be seen in fig. 1), the river cuts into lacustrine sediments filling the depression, and in its



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

34. Triumphal Gates in the mouth of the Geysernaya river – a dyke cut through by the river. In the distance – the dyke named The Peak of Junction



**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: тейфра, 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

**Fig. 3. Schematic geological map and profiles of the Geysernaya river basin:**

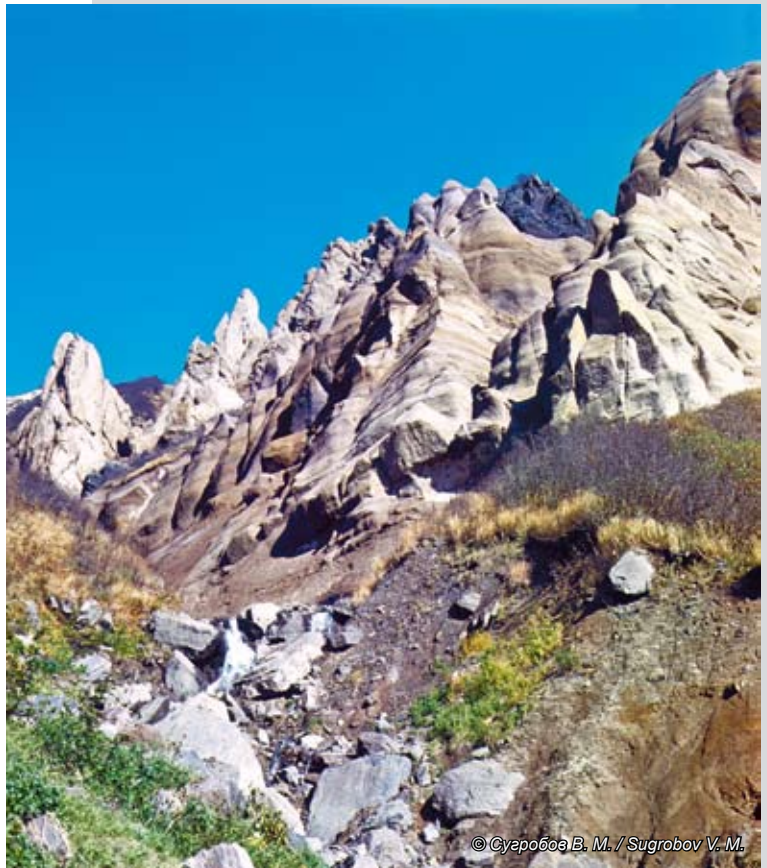
1 – lacustrine sediments (aged 9–12 thousand years); 2 – lavas of andesitic, dacitic and rhyodacitic compositions; 3 – lacustrine sediments (aged 20–35 thousand years); 4 – a) explosive sediments: tephra, pumices, ignimbrites (age 39–40 thousand years), b) lavas of dacitic and rhyodacitic compositions (edge complex); 5 – pre-caldera deposits (whole); 6 – erosive ledges bounding the Uzon-Geyser volcanic depression from the East; 7 – thermal springs: a) in the map, b) on the profile

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 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 экстрезивных 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 экстрезивных куполов сопки Гейзерной и Желтой. Лавовые потоки их сомкнулись, и между ними и северным бортом депрессии образовался небольшой обособленный



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

35. Picturesque precipices of pumice and cinder tuffs of lacustrine sediments at the left slope of the Geysernaya river – Yellow Cliffs

middle and lower current, it cuts them through disclosing the most ancient deposits that refer to its basement. Deposits of various ages joint into five complexes are depicted in the map (fig. 3). Pre-caldera complex (green color) hosts different rocks (mostly lavas and tuffs of andesite and dacitic composition), that had developed prior to the formation of the Uzon-Geysernaya depression. Age of those rocks vary from 40 to 140 thousand years.

The other two younger complexes (red and pink) are associated with the formation of the Uzon-Geysernaya depression. The earliest of them, the board one (red), is presented by numerous dykes, extrusive bodies and lava flows of dacitic to rhyodacitic composition. The dyke called Pik Sliyaniya (Confluence Peak) at the left bank of the Shumnaya river, opposite the mouth of the Geysernaya river, is a typical example of an intrusion body (photo 34). Most bodies intruded through arc fissures that had formed along the edge of the above depression, thus constructing its sides. The second complex (pink) is presented mainly by explosive sediments – pumices, bomb tuffs, ignimbrites. Its formation is associated with severe explosions immediately preceding the development of the volcanic-tectonic depression. The age of the deposits of this complex ( $39\,600 \pm 1\,000$  years) was determined using radiocarbon method, by the soil buried beneath the ignimbrites in the area of the Kronotskoye lake.

The youngest deposits disclosing in the Geysernaya river basin fill the Uzon-Geysernaya depression and are partially distributed along its sides. They are joint into two complexes depicted in fig. 3 by yellow and orange colors. The first one (yellow) is presented by lacustrine sediments widely spread at the sides of the Geysernaya river (photo 35) including layered pumice tuffs, occasionally containing beds of breccias and conglomerates. Studies of their composition and distribution showed that within the Uzon-Geysernaya depression, there existed several lake basins that were different in shape and depth and gradually shifted westward and northward. Overall thickness of those sediments along the Geysernaya sides exceeds 400 m. The second complex referring to the post-caldera stage, is presented by lavas varying in composition from andesites to rhyolites (orange). The most widely spread are the riodacitic lavas constituting large volcanic construction, including the Zheltaya and Geysernaya hills, having a central dome and thick (up to 100–150 m) lava flows running from it. Intrusion of those lavas took place after the formation of the main body of lacustrine sediments, and lavas spread over their plane surface forming large precipitous plateaus. Absolute altitudes of the plateaus equaled or even exceeded those of the Uzon-Geysernaya depression sides, so that by the time, it did not exist as a real depression in the local relief any more.

Formation of the above young extrusive domes and associated flows took place immediately prior, and perhaps during the period of the last glaciation, that is, about 15–20 thousand years ago. By that moment, volcanic activity in the area had in fact seized, the depression being completely filled up with lacustrine sediments and lavas.

Further development of the area and the formation of the Valley of Geysers in the way we know it today, are connected with the processes of erosion and wash-out of the described rocks. Those processes were evidently the most active during the glacier contraction, when full-water rivers running from under the glaciers could deeply cut into the mass of lacustrine sediments filling the Uzon-Geysernaya depression. Significant might also be the origination of the youngest North-Northeastern fault system in early Holocene (about 9–12 thousand years ago). As the result, the Southeastern side of the depression was ruined, and a deep canyon formed within it. Almost all the lake basins that had existed within the depression got drained and lowered, and along its edges deep valleys of the rivers (now called Geysernaya and Shumnaya) were formed.

A small lake in the northeastern part of the Uzon-Geysernaya depression remained for the longest period of time. The sediments generated in this lake, are mainly slag tuffs, which were delivered, apparently, from the erupting Southern cone of the Krashennikov volcano located 15 km north of described area.

Thermal manifestations in the middle part of the river Geysernaya valley – Verkhne-Geysernoye thermal field – are confined to the lavas of the pre-caldera complex, exposed at the left bank of the river. Lacustrine sediments, used to be filling the Uzon-Geysernaya depression, here are

бассейн, который существовал еще в начале голоцена (8–12 тыс. лет назад). Отложения, сформировавшиеся в этом озере, представлены преимущественно шлаковыми туфами, которые поставались, 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 погружается 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 заключение 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

completely destroyed by erosion. Further down, the Geysernaya river flows over lake sediments and in this part of the valley, large thermal manifestations do not occur. They appear again in the lower current where the river cuts the lacustrine sediments filling the depression, and again reveals a complex of pre-caldera sediments. In this place most of large geysers and thermal springs are concentrated extending for about 2,5 kms, and this is the place everyone knows as the Valley of Geysers.

Formation of the Uzon-Geysernaya hydrothermal volcanic-tectonic depression and thermal springs located within and near it is connected with the existence of a large shallow (10–15 km) magmatic chamber in this area. Judging by the sizes of the depression, the area of the chamber projection onto the surface makes up about 100 km<sup>2</sup>. The observed increase of the ring structures' diameter and asymmetry of their sides suggest that the roof of the chamber is subsiding westward. Its depth is estimated as 7–8 km for the eastern part of the depression, and 10 km for the western one.

In Late Pleistocene (about 40 thousand years ago), general activation of volcanism took place in the Kurile-Kamchatka Region. At that time, large pyroclastic eruptions occurred in many areas hosting near-surface magmatic chambers. Dozens of cubic kilometers of magma were ejected into the air, subsidence took place above the chambers, thus forming volcano-tectonic depressions, and the Uzon-Geysernaya depression as well. After voluminous caldera-forming eruptions, magmatic chamber beneath the new depression did not vanish. Up to Holocene, that is for 25–30 thousand years, occasional eruptions brought out onto the surface lavas and pumices of acidic composition. At the same time, volume of acidic material was reducing, which indicated gradual fading of the chamber.

In early Holocene (about 9–12 thousand years ago), volcanism activated again. Such volcanoes as Kizimen, Krashennnikov and Maly Semyachik began forming near the Uzon-Geysernaya depression at that period. It is quite probable, that periodic introduction of deep high-temperature melts into the magmatic chamber in Holocene occurred repeatedly, and the chamber can still show high temperature today. Acting as the accumulator of heat, it provides its supply to the of hydrothermal systems of the Valley of Geysers and Uzon caldera.

In the conclusion of the geological unit, we present the data on the structure of rocks, their stratification, about breaks, extrusions and about other materials on geology as a sort of a fairy tale on what processes have led to the formation of the Valley of Geysers. When speaking about a person, one often recollects his grandmothers, grandfathers, his father and mother... Then, the personality of the person described becomes more clear. Using this analogy, we shall try to tell about the «ancestors» of the Valleys of Geysers.

Let us go back for 16 million years, not so much given the age of our planet (4–4.5 billion years). So, neither the Valley of Geysers, nor Kamchatka existed 16 million years ago. However, several extraordinary events took place at that time. Africa jointed with Eurasia, and at the place where the

Tatice Ocean had separated them before, lofty mountains rose, among them the Alps, Tavrás and Zagros. During the same period, anthropoid apes first appeared in Africa – the species from which homo sapiens developed afterwards. Rudiments of the Kurile-Kamchatka island arc already existed in the East of Asia, and the formation of a vast Kurile depression began 16 million years ago. Magma flooded North along the arc. Subsidence occurred in the South, whereas in the North, there began the elevation of an immense part of the land that had emerged from the Ocean and appeared before us in the form of a peninsular now called Kamchatka. It happened 6–8 million years ago. If to consider the human history again, at that time in Africa, a group of apes developed named the «human family».

At the same time, 6–8 million years ago, a vast dome (100–120 km in diameter) began developing in the Southern Kamchatka, approximately in the area of modern cities of Petropavlovsk-Kamchatsky and Elizovo. Its formation was connected with a diapir – a gigantic drop-shaped magma body that had lost contact with its deep roots. Hydrostatic forces drew the magma body up, and in the result, it elevated its overlaying rocks. This dome, nowadays called Nalychevsky, is closely related to the Valley of Geysers, being its «great-grandfather», if to draw parallels with the human relations.

Powerful surface volcanism started manifesting itself in Kamchatka about 3 million years ago. Within the Nalychevsky dome, large basaltic volcanoes were formed at that period, whose ruins (lava-plateaus) can be seen today in the upper course of the Avacha River.

One more million years had passed and a new large volcanic center – Karymsky – began forming at edge of the Nalychevsky dome, to northeast from it. The most ancient lavas of the new center are estimated to be 0.8–2 million years of age. This center can be considered a direct relative of the Nalychevsky dome and, as we shall further learn, «grandfather» of the Valley of Geysers. Its development was quite continuous and intricate. The most immense events took place here about 150–180 thousand years ago, when enormous eruptions brought out hundreds of cubic kilometers of rocks and caused extensive subsidence: calderas of such volcanoes as Polovinka (Half), Stena (Wall) and Sobolinyi (Sable). It should be noted that the above period was remarkable for the human history as well, for a first human being called Homo Sapiens appeared then. Really hard and even dramatic was the origination of both young geological formations and new biological species.

So, we have come to the Grandfather of the Valley of Geysers. Let us see who was its immediate ancestor. Father of the Valley of Geysers can be considered the Bolshe-Semyachiksky volcanic center. It had appeared at the edge of the Karymsky center, a bit north-east off it, and continued the trend of volcanic activity that had started within the Nalychevsky dome 3 million years before. The oldest rocks in this center are dated 300–500 years, while the climax of its development, that is magma outburst onto the surface and formation of calderas, took place here about 90–120 thousand years ago. At that time, volcanic activity

«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 гг. 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 гидростатическим силам всплывала и подняла перекрывающие ее породы. Этот купол, который в наши дни получил название Нальчевский, 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 Нальчевского 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 Нальчевского 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 Нальчевского 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 Нальчевском 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 пирокластики, 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, поступающими 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-Семьячикского 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!

first started manifesting itself in the area where the nowadays Geyser Valley is located. But that was just the beginning of the formation of a large volcanic center here, which we now know as the Uzon-Geysernaya one. It reached the peak of its development about 40 thousand years ago, when voluminous pyroclastic eruptions were followed by extensive subsidence later called the Uzon-Geysernaya volcanic-tectonic depression. And again, we should address the human history. By the paleo-anthropological data, it was 40 thousand years ago, when the anatomical euhominid appeared that is our direct ancestor! Evidently, at the same time (about 35–40 thousand years ago) powerful hydrothermal activity first started in the Eastern part of the Uzon-Geysernaya depression. That activity can presently be traced along the steep ridges surrounding the Valley of Geysers from the East. But still the Valley of Geysers itself did not exist; a deep lake was located in its place that was gradually filled with pumice and various clasts brought in as a result of nearby eruptions. And not so long ago (from the geological point of view), after the melt of the last ice age glaciers (that took place in Kamchatka about 20–21 thousand years ago), a break of the border of the Uzon-Geysernaya depression occurred in its southeastern part, and the lake was drained. So, about 10–12 thousand years ago, the Valley of Geysers acquired the form that is so familiar to us today – a deep canyon cutting the mass of lacustrine sediments that used to fill once extensive Uzon-Geysernaya depression.

Thus, the Valley of Geysers is not just an ordinary formation that can appear wherever volcanic activity occurs. It seems to have concentrated in itself a continuous volcanic process, systematically and regularly progressing over the vast area covering the whole Eastern Kamchatka. And there would be no Geyser Valley without its «great-grandfather», Nalychevsky Center, its «grandfather», Karymsky Center, and its «father», Bolshe-Semyachinsky Center. This ones again stresses its uniqueness as a geological object.

Perhaps, it is not an occasion that the process of the Valley of Geysers formation progressed parallel to the human evolution. As a human, it might have acquired something mental and spiritual, something that is so charming for us. Whatever it might be, the Valley of Geysers is the most wonderful and attractive nook of our peninsular, and there is nothing left but hope that it will remain so forever.

## *Hydrogeology and the model for the Geysernaya hydrothermal system*

The above brief definition of a hydrothermal system shows that its development suggests the presence of a powerful heat source and geological structure that provides generation of ground waters. The heat source of the Geysernaya hydrothermal system is evidently a magmatic chamber existing for a long time beneath the Uzon-Geysernaya depression. Eastern part of the chamber immediately affects the heating of the ground waters. Water component of the hydrothermal system is formed by a certain pattern of the formation of typical ground waters.

At the elevated areas of the relief (Kikhpinych volcanic massif, hills Geysernaya, Otkrytaya Ostanets and Gornoye Plato), atmospheric precipitates dropping out as a rain and snow infiltrate through the soil to various depths into the pores and fissures of the rocks, thus forming aquiferous layers (horizons). Near-surface permeable rocks contain free (nonpressurized) ground waters. Underlying permeable rocks are separated by less permeable (waterproof) deposits (for example, clays), and, as a rule, are completely filled with the water under pressure. These are pressure or artesian underground waters. Due to the alternation of permeable and impermeable rocks, several aquiferous horizons or complexes are formed.

If to consider the conditions of the Geysernaya river basin, five aquiferous complexes are distinguished here. Four of them present ground water horizons. Waters of the first water-bearing complex are hosted by extrusive deposits of the left and right sides of the Geysernaya valley (Geysernaya hill, Gornoye Plato (Mountain Plateau)). The rocks are characterized by high fissure permeability, which is favorable for penetration and accumulation of infiltration waters. Numerous cold springs are associated with this horizon. Thus, the largest cold springs are located on the left bank, at the upper steep of the Yellow Rocks, in the place of the contact between the Geysernaya extrusion lavas and the underlying tuffs (photo 36). Their flow rate reaches 100 l/s, while water temperature is only 2 °C. Waters of the complex are formed in the result of infiltration of atmospheric precipitates. Their chemical composition is hydrocarbonate-sodium-calcium-magnesium, with mineralization up to 100 mg/l, and practically corresponds to the composition of atmospheric precipitates (table 3).

The second aquiferous complex is close to the first one in composition of water-hosting rocks presented by riodacites,

## *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. Первых четыре из них представляют собой горизонты грунтовых вод. Воды первого водоносного комплекса содержатся в экстрезивных образованиях левого и правого бортов долины Гейзерной (сопка Гейзерная, Горное плато, экстрезии 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 экстрезии 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 по составу водовмещающих пород, представленных риодацитами, базальтами и рыхлыми делювиальными отложениями склонов вулкана Кихпиньч и сопки Желтой. Воды этого комплекса также безнапорные, преимущественно трещинной циркуляции, которые образуют на склонах массива Кихпиньч 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



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

36. Canyon of Yellow Cliffs. Cold springs at the contact-point of fractured extrusion lavas and pumice tufts

basalts and loose dealluvial deposits at the slopes of the Kikhpinych volcano and the Zheltaya hill. Nonartesian, mainly fissure circulation waters of this complex form low-discharge descending spring at the slopes of the Kikhpinych massif. Chemical composition of cold waters is hydrocarbonate-magnesium-calcium, with mineralization below 200 mg/l. Beside cold waters, in the areas of thermal anomalies, various thermal manifestations occur, associated with the ascent of steam and gas to the surface, steam condensation and gas dissolution in ground waters. Chemical composition of waters in hot water and mud pots is sulfate with various cations including ammonium and hydrogen, and mineralization of 500–700 mg/l (for example, the Tcherny (Black) spring); while water springs have the sulfate-hydrocarbonate-magnesium-sodium composition, with mineralization up to 900 mg/l (the Neozhidannye (Unexpected) springs).

The third water-bearing complex of lacustrine sediments occupies mostly the slopes of the Geysernaya valley; at the left side including only the basin of the Vodopadny (Waterfall) Stream. Psephitic tufts of the complex contain mainly cold ground waters that are heated only in the fault zones and in the areas of lacustrine sediments' contact with the extrusions of the left side of the valley, where steam-gas

Таблица 3. Химический состав подземных вод Долины гейзеров  
Table 3. Chemical composition of underground waters of the Valley of Geysers

Место отбора пробы Sampling site	Температура, T °C	pH	Общая минерализация, мг/л mineralization 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. 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 Кихшинич). Second aquiferous complex (Quaternary pyroclastic rocks and lavas of the Kikhrinuch Volcano)													
Нисходящий источник, лев. берег руч. Голубого (X участок). 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). 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). 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 volcanogenic sediments)													
Нисходящий источник, лев. склон руч. Водопадного. Descending spring, left slope of the Vodopadny Stream	4	6,58	74,8	0,1	4,6	1,5	3,6	с.л. traces	22,3	1,9	3,5	0,4	36,9
Нисходящие источники, лев. склон руч. Правого. Descending springs, left slope of the Pravy (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 (докальдерных дацитовых лав). Fourth aquiferous complex (Pre-caldera lavas)													
Истоки руч. Медвежье. 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). 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). 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). 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). 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). 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

(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 составу 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

jets occur. Springs with high temperatures and water mineralization are observed in this area. Typical springs of this complex have hydrocarbonate-calcium composition, mineralization not exceeding 100 mg/l, and low discharge – up to 0.5 l/s.

The fourth aquiferous complex of groundwater is connected with pre-caldera the sediments distributed in the middle of the left bank of the Geysernaya valley. Water circulates along cracks and pores of dacitic lavas and landslide deposits. In the area of the aquiferous complex distribution warm and hot springs prevail, whose formation is connected to mixing cold waters with the steam ascending from the depth. The brightest representatives of the complex are thermal manifestations of the Verkhne-Geysernoye field.

The fifth aquiferous complex of artesian thermal waters is associated with the tuffs of lacustrine sediments of the first caldera-forming stage, as well as with the fractured lavas and tuffs of pre-caldera deposits. Thermal waters are isolated from ground water complexes by relatively waterproof (aleuropelitic) tuffs and lavas. High temperature pressure waters ascend under hydrostatic pressure, and discharge onto the surface along the fissures in the waterproof upper boundary



© Дрознин В. А. / Droznin V. A.

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

**37. Discharge of high-temperature waters of the V aquiferous (thermal) complex. Boiling springs and geysers in the Central part of the Valley of Geysers. On the background, at the left-geyser Vellikan**

in the form of numerous geysers and boiling springs (photo 37). Chemical composition of the high-temperature waters is chloride-sodium, with total mineralization of 1.8–2.2 g/l. Discharge water temperature at depth, calculated by the chemical composition of the spring waters, using the so-called geochemical geothermometers, reaches 150–180 °C. Surface boiling point of water can not exceed 100 °C, therefore excess heat content of waters with temperature 150–180 °C are transforms some portion of water into steam discharging together with waters of boiling springs and geysers. Purely steam discharge is also possible, if the mentioned high temperature at depth goes beyond the boiling point at a given value of hydrostatic pressure. In that case, steam formation starts considerably below the surface, more volatile steam comes off the water, ascends and discharges onto the surface along the fissures. Steam-outs mostly occur in the upper Geysernaya valley, over its slopes and at the foot of the Kikhpinich volcano, where piezometric (pressure) level of the thermal aquiferous complex lies below the surface. In the areas of mostly water discharges, steam jets are recorded in the elevated parts of the microrelief.

Judging by the disposition of various surface thermal manifestations, from steam-gas jets and acidic sulfate waters of the Kikhpinich volcano foot to chloride-sodium boiling springs in the lower Geysernaya basin, this aquiferous complex is spread almost all over within its limits. There seems to exist a single hydrotherm flow moving from the Kikhpinich volcano foot towards the lower current of the Geysernaya river (discharge zone). Temperature of its up flow branch from a tentative heat source (magmatic chamber) is also estimated by the chemical composition of spring waters and gases, and on the average, makes up 250 °C (maximum 330 °C). General flow rate of high-temperature waters is determined using the so-called hydrochemical method, showing the value of about 300 l/s. The method is based upon the detection of the river supply and removal of a chemically stable component of high-temperature water (in this case, chlorine). Concentration of chlorine in thermal water much exceeds its content in the river before the discharge zone. Chlorine discharge was calculated by its content in the mouth of the Geysernaya river and its flow rate. The flow rate was determined by the measurements of the coring winch velocity and river cross-section. Since chlorine content in the upper waters is quite low (about 0.7 mg/l), it is possible to assume, that practically all chlorine in the mouth is supplied with discharging thermal water. So, its flow rate can be calculated dividing all the estimated chlorine to its concentration in thermal water. For instance, in September 1989, flow rate of the Geysernaya river made up 3 340 l/s, chlorine content in the river waters being 85 mg/l. Consequently, chlorine consumption (carrying out of chlorine) was 283 900 mg/s. As maximum chlorine content in the discharging thermal waters in the form of boiling springs and geysers reaches 900 mg/l, total discharge rate of thermal water will make:  $283\,900\text{ mg/s} : 900\text{ mg/l} = 315\text{ l/s}$ . This value includes the apparent discharge, which is the total of springs and geysers yields – about 100 l/s. This is the largest rate of natural discharge of high-temperature waters onto the surface, ever known in Kamchatka.

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 подножье вулкана Кихпинич, там, где пьезометрический (напорный) уровень термального водоносного комплекса находится ниже поверхности. На участке преимущественно водной разгрузки паровые струи отмечаются на возвышенностях микрорельефа.

Судя по расположению разнообразных поверхностных термопроявлений – от парогазовых струй и кислых сульфатных вод подножья вулкана Кихпинич 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 подножья вулкана Кихпинич 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 °C (максимальная – 330 °C). 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 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 Кихпиньч, 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

Pressure flow of high-temperature waters virtually conditions all the peculiarities of the hydrothermal system that, in this case, can be defined as a total of manifestations of hydrothermal activity observed on the surface and going on beneath. Hydrogeological model for the hydrothermal system, or the formation pattern for high-temperature waters, can be presented as follows. Deep circulation ground waters, formed in the result of atmospheric precipitates infiltration in the area of the Kikhpinych volcanic massif, are heated by the magmatic chamber and generate an ascending hydrotherm flow with the temperature of 250–330 °С. Ascending to the surface discharge zone, they mix with cold waters and being

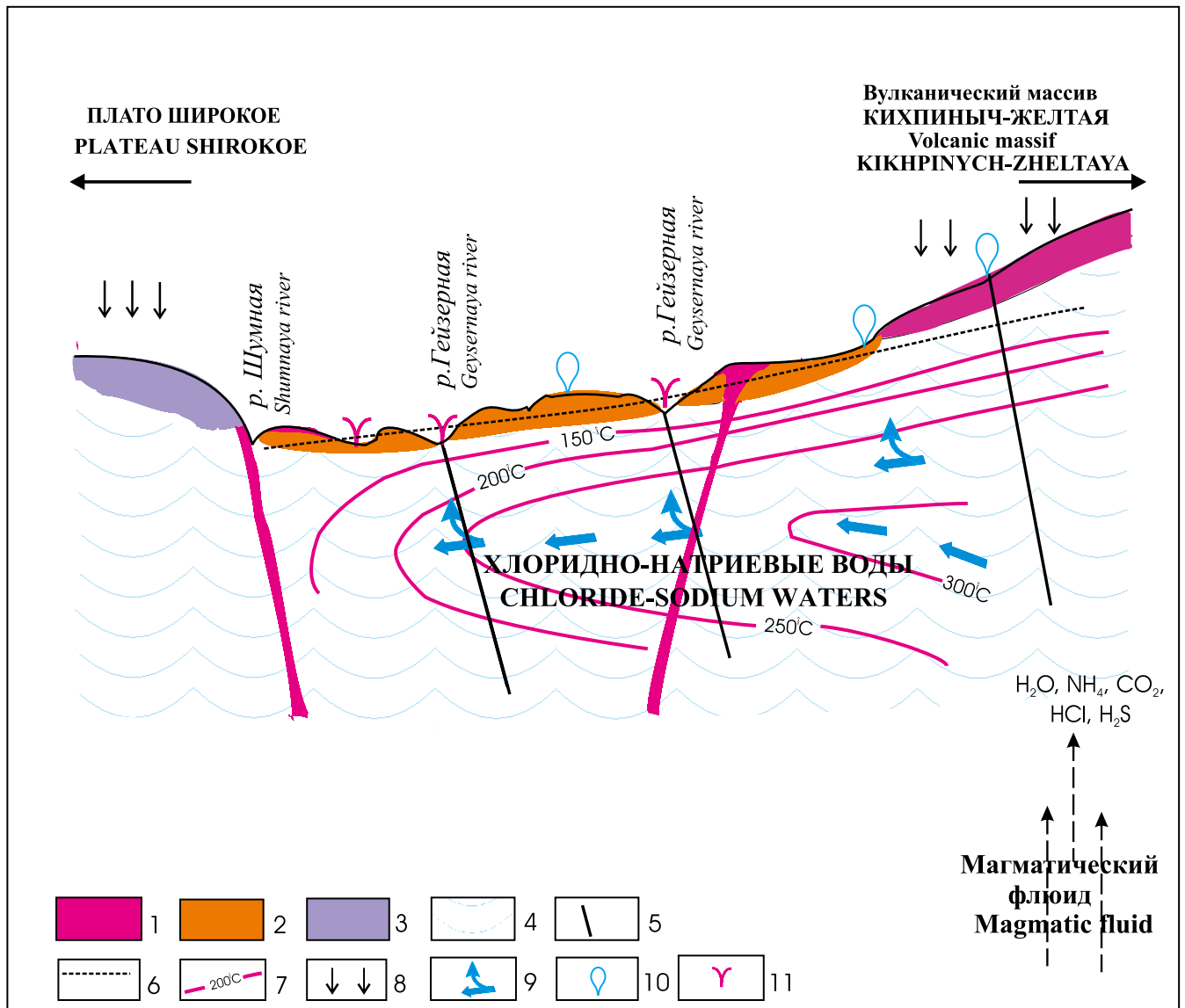


Рис. 4. Принципиальная модель Гейзерной гидротермальной системы:

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 водопроницаемые (водоносные) отложения; 5 – разломы; 6 – напорный (пъезометрический) 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)

Fig. 4. Principal model for the Geysernaya hydrothermal system:

1 – lavas, dykes of andesitic composition – relatively impermeable (waterproof) deposits; 2 – tuffs, tuffites – relatively impermeable (waterproof) deposits; 3 – tuffs, lavas, ignimbrites – relatively impermeable (waterproof) deposits; 4 – interlayering of tuffs of various density, fissury lavas and tuff-lavas – relatively permeable (aquiferous) deposits; 5 – faults; 6 – pressurized (piezometric) level of underground thermal waters; 7 – isotherms; 8 – meteoric waters; 9 – direction of thermal waters migration; 10 – discharges of steam and steam-gas mixture; 11 – geysers, boiling and hot springs (discharge of thermal waters)

cooled (also due to the loss of steam), acquire the nature of the lateral flow (out flow) with water temperature of 180 °C (fig. 4).

In the discharge zone, high-temperature water ascends to the surface through the fissures in the waterproof upper layer not only driven by hydrostatic pressure, but also due to the difference between the volume weights of hot and surrounding cold waters. For instance, at water temperature of 200 °C, water volume weight is approximately 0.86 g/cm<sup>3</sup>, that is, its weight is 14 % less than that of 0 °C water. Hot water as if floats to the surface, pushed by cold waters. Studies of the distribution of hydrogen isotope – tritium – within natural waters of the Geysernaya basin have shown that the water of hot springs and geysers has been circulating in the bowels at least for 600 years. For comparison, interchange of cold ground waters comes about only for 4–6 years, which is the evidence of their surface formation. Wide variety of thermal and water manifestations in the Geysernaya river basin is accounted for by the fact that the river creates the conditions for the deep drainage of all the aquiferous complexes by intersecting aqueous rocks and disclosing the upper part of the hydrothermal system from the ascending flow zone to the zone of lateral hydrotherm flow discharge.

Geysernaya hydrothermal system is characterized by one of the largest heat efflux in Kamchatka. As it was mentioned, the total flow rate amounts about 300 l/s of water, with average depth temperature about 250 °C. Heat efflux makes 314 MWt with respect to the annual air temperature (approximately 0 °C). Given the losses of heat in the upper Geysernaya river that are not included into the value of water discharge rate, the total size of heat efflux will make 321 MWt.

It is obvious, that hot waters bring various chemical compounds onto the surface (into the Geysernaya river and other currents). Some numbers can be given to show the scale of the substance removal by modern hydrothermal systems. Given the high-temperature waters discharge of 300 l/s, 62 tons of dissolved substances daily penetrate into the Geysernaya river, including 23 tons of chlorine, 17 tons of sodium, 1.5 tons of potassium, 0.6 tons of calcium, 0.6 tons of boron, 9 tons of silica acid and 0.3 tons of sulfur.

в водонепроницаемой кровле не только под действием гидростатического давления, но и за счет различия в объемных весах горячих и окружающих их холодных вод. Например, при температуре воды 200 °C объемный вес воды равен приблизительно 0,86 г/см<sup>3</sup>, то есть она легче на 14 % воды с температурой 0 °C. 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 водопроявлений 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 °C. Относительно среднегодовой температуры воздуха (приблизительно 0 °C) вынос тепла составит 314 МВт. С учетом теплопотерь в верховье р. Гейзерной, не входящих в величину водной 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

## Geysers and other thermal manifestations of the Geysernaya river valley

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

As mentioned above, high temperature water and steam of the hydrothermal system emerge onto the surface in the form of springs and steam jets, conditioning the heating of the ground and surface waters and resulting in the formation of thermal anomalies, the so-called «thermal fields».

Verkhne-Geysernoye (Upper Geysers) Field (IX in fig. 2) occupies the left bank of the middle current of the Geysernaya river, and stretches for about 1.5 km. Its formation is associated with the influence of the steam that had separated from the high-temperature aquiferous complex, that is why no geysers or boiling springs can be observed here, only numerous minor steam vents, areas of steaming and heated ground and mud pools.

Geysernoye Thermal Field, the greatest one, starts at the confluence point of Geysernaya and Shumnaya rivers, extends four kilometers up the Geysernaya current, along its both banks, and ends in the vicinity of the Verkhny (Uppermost) geyser, near the Trekhkaskadnyi waterfall and latest thermal manifestations located 200 m up (I–VIII in fig. 2). This is the place where the major discharge (surface outflow) of high-temperature ground waters occurs, due to which, the most vivid surface thermal manifestations here are various springs (hot, boiling, permanent and pulsating) and geysers. The area within the Geysernaya river basin, occupied by the Geysernoye thermal field, where all the geysers are concentrated, had got its own name of the Valley of Geysers (photo 38, 39). Most effective geysers, including 19 from 20 discovered and first described by T. I. Ustinova, are mainly located in a two-kilometer near-mouth zone – the central part of the Valley of Geysers (fig. 2, 5). The largest pulsating springs and mud thermal pots can be also observed here. More than 60 geysers and over 30 large boiling springs operate in this area, with brisk personalities and individual names, as well as numerous tiny geysers, springs and mud thermal pots.

In spite of the diversity of geysers, a common feature is known to be the periodicity of all their operation stages. Geyser operation starts when the water (cooled in the course of its previous eruption) flows out of the upper part of a channel. Quiet at the beginning, the outflow is then interrupted by single splashes of water and release of vapor bubbles, often followed by short pauses in the outflow, though, on the whole, its intensification is observed with time. The moment of vapor bubbles emergence in the outpouring water indicates the beginning of steam formation within the geyser



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

**38. 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**

**38. General view of the Valley of Geysers at the Centralni site. In the center – the Fountain Plateau; in the background: to the left – the canyon of Yellow Cliffs, to the right – precipices of the left side of the Geysernaya river valley**

channel. When steam formation (induced by the decreasing pressure and increasing temperature due to the influx of hotter water) affects most part of the channel, the second stage starts, during which intensive boiling turns to the spouting of steam-water mixture, that is, the geyser eruption itself takes place. In the course of a usually brief eruption, the channel ejects huge volumes of steam and water, if compared to their discharge rates during the calm outflow. After the eruption, steam is emitted from the emptied channel for some time (the steaming stage), and then goes the fourth stage, during which the channel is filled with new portions of hot water. Further, we can observe the repetition of the above picture of geyser's operation.

Though the nature geysers' operation is quite similar for all of them, manifestation of each stage of every single geyser is exceptionally individual. First of all, it concerns the duration of a complete operation cycle called periodicity and

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 ко-

роткий, как правило, период извержения из канала выбрасывается огромное количество воды и пара по сравнению с расходом воды при изливе. После извержения из 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 толь-



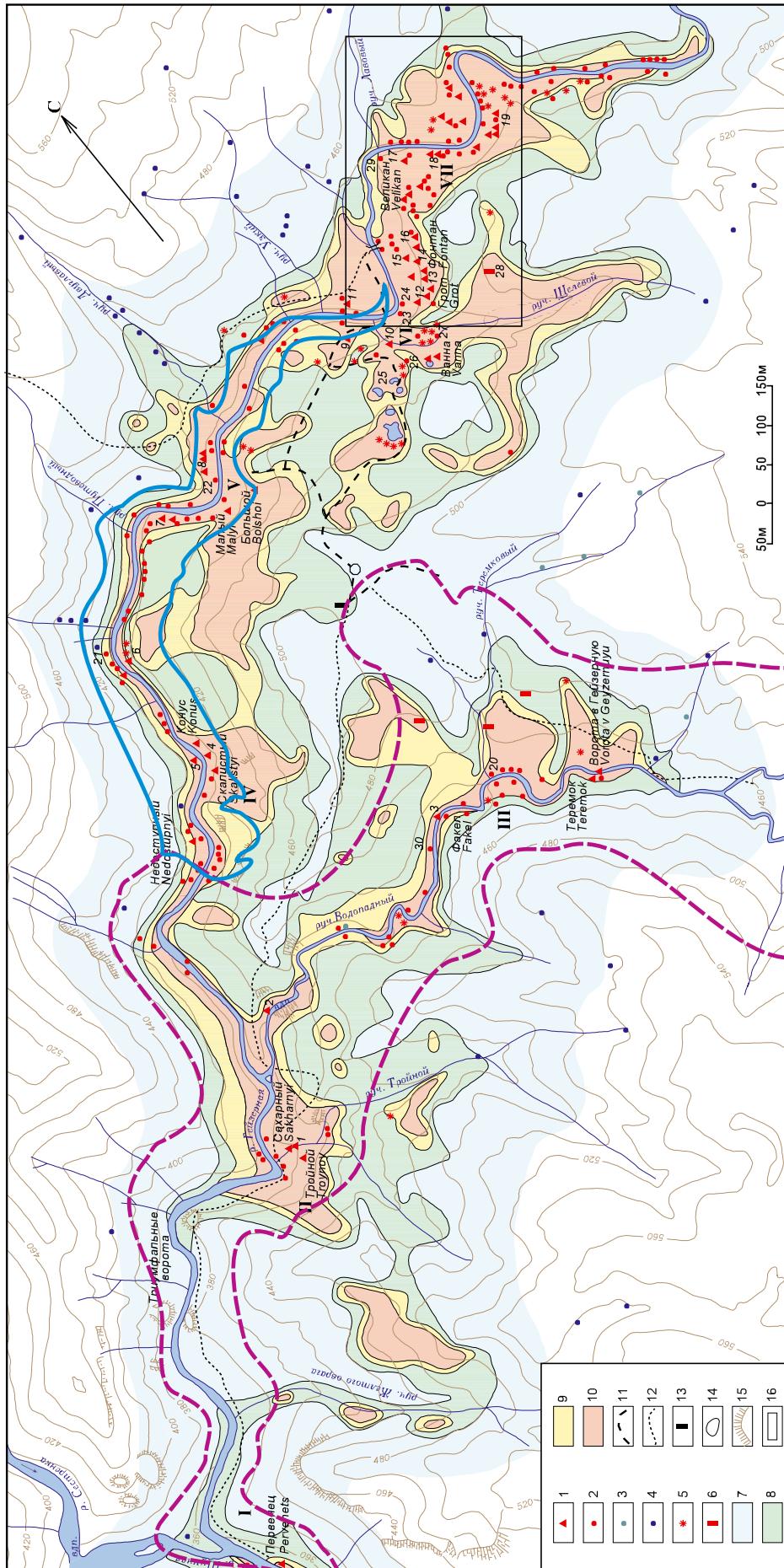
*39. Центральная часть Долины гейзеров. Зимой наиболее активные термальные пощадки хорошо заметны по проталинам в снеговом покрове*

**39. Central part of the Valley of Geysers. In winter, the most active thermal grounds are well distinguished by thawed patches in the snow cover**

measured by the time that passes between the same stages of the present and the consequent cycles, for instance, between the stages of eruption. Periodicity of geysers operation in the Valley of Geysers is quite different, ranging from a few hours (the Velikan (Giant) Geyser) to a few minutes (the Pyatiminutka (Five-Minutes) Geyser).

However, the most distinct visible differences manifest themselves in the nature of the steam-water mixture eruption and in the structure of the upper parts of geyser channels. The eruption usually takes from a few seconds to the first minutes. But how different those seconds and minutes are for each geyser! Some of them are just some poor splashes of boiling water, while the others shoot voluminous multi-stream fountains of boiling water to the height of 10–25 m and columns of steam rising up to 100–300 m (for instance, such geysers as Velikan (Giant), Bolshoi (Large), Maly (Small), Troynoy (Tripple), Pervenets (First)). Diversity and vividness of the outer parts of geyser channels prompted their original names. It is especially typical for geysers whose surface channels form rather large craters (pools), or are composed of geyserite constructions different in shape, size and color: geysers Zhemchuzhny (Pearl), Konus (Cone), Rozovyi Konus (Pink Cone), Sakharnyi (Sugary), Vanna (Bath), Bolshoi (Large).

Notable is that most geysers, as well as large permanent and pulsating springs are located at the left bank of the



ко 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.

Geysernaya river, whereas the largest of them are set just beside the river. Small springs and geysers occur at higher altitudes, only steam vents being above them. One can easily find that within the vast Geysernoye Field, geysers and other thermal manifestations are grouped at separate sites. T. I. Ustinova used to distinguish 8 sites. Following her descriptions, we shall further consider those sites of thermal manifestations, starting from the mouth of the Geysernaya river.

## Участок Приустьевой (I)

## Priustjevoi Site (I) (Nearriver mouth)

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 одном метре выше ее уровня. Выходное отверстие канала

The only thermal site lying beyond the bounds of the Geysernaya river valley, is located at the left bank of the Shumnaya river, 60 below the place of its confluence with the Geysernaya river (photo 40). One geyser – Pervenets (The First) can be found in this area sized 10 x 30 m, with the 1 m depth isotherm being 70 °C, that had got its name because it was the first geyser discovered by T. I. Ustinova in 1941. No other thermal manifestations are observed here, and only some signs of discharging thermal waters can be traced, such as increased ground temperatures, green algae at the estuary sides, white siliceous films on the stones.

*The geyser Pervenets* is located 5 m off the river, 1 m above its level. Outlet of the channel of a geyser can be

### 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 – вертолетная площадка; 15 – уступ левого борта долины р. Гейзерной;  
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 – гейзеру Водопада; 3 – Малютка; 4 – Текучий; 5 – Большая Печка; 6 – Буратино; 7 – Красный; 8 – группа карликовых гейзеров стенки Пийпа; 9 – Щель; 10 – Гротик; 11 – Пятиминутка; 12 – Бастион; 13 – Новый Фонтан; 14 – Непостоянный; 15 – Двойной; 16 – Аверьевский; 17 – Жемчужный; 18 – Горизонтальный; 19 – Розовый Конус; 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 (Флюгер)

### Fig. 5. Surface thermal manifestations and thermal sites of the Valley of Geysers:

1 – geyser; 2 – boiling spring; 3 – spring with temperature of 50–100 °C;  
4 – spring with temperature of 25–50 °C; 5 – mud pot;  
6 – steam-gas jet; areas of heated ground with temperature at a depth of 1 m:  
7 – less than 20 °C; 8 – 20–50 °C; 9 – 50–70 °C; 10 – more than 70 °C;  
11 – plank layered pathway; 12 – pathway; 13 – ranger's house; 14 – helipad;  
15 – ledge of the left side of the Geysernaya river valley;  
16 – margins of the Central (VII) Site map.

Red dotted line denotes the boundary of the landslide and mud-and-rock slump occurred on June 3, 2007; blue firm line denotes outline of the barrier lake.

Numbers in the map denote:

Geysers: 1 – Sosed; 2 – Geyser U Vodopada; 3 – Malyutka; 4 – Tekutchii; 5 – Bolshaya Pechka; 6 – Buratino; 7 – Krasnyi; 8 – The Piip's Wall of Diminutive Geysers; 9 – Shchel; 10 – Grotik; 11 – Pyatiminutka; 12 – Bastion; 13 – Novyi Fontan; 14 – Nepostoyanniy; 15 – Dvoynoi; 16 – Averiievskii; 17 – Zhemchuzhnyi; 18 – Gorizontalny; 19 – Rozovyy Konus. Springs: 20 – Teremok, 21 – Romeo and Juliet; 22 – Malaya Pechka; 23 – Malakhitovyy Grot; 24 – Mnogostruiyny, 27 – Kovarnyy, 29 – Paryashchii; Mud pots: 25 – Bolshoy Gryazevyi Kotel (Krasnyi); 26 – pulsating spring in holes (The Gates of Hell); 28 – Flyuger steam-gas jet



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

40. Valley of the Shumnaya river at the place of its confluence with the Geysernaya river. In the center – rapid bed of the river after the waterfall

noticed among the clasts and single rock bodies standing out against the relatively smooth surface of the site. Surrounding rocks are covered by geyserites, one of the blocks beetling over the vent and having the shape of a cap. The geyser operates as follows. The eruption starts swiftly and violently (photo 41). Steam-water streams, changing each other, rise for 15 meters at a 45° angle to the river. In calm weather, steam columns reach 150 m in height. This spouting lasts for about 3 minutes, steam prevailing in the fountain during the last minute. The eruption is followed by the stage of steaming, characterized by steam emissions, as well as occasional splashes of water and some hollow rumble absorbed by the depth of cooled water streams (drops). The pause is continued by the channel filling with new portions of water (the stage of filling or replenishment of water in the channel); and then follows the outflow of water and more active visible operation of the geyser starts. The outflow is quiet at the beginning, then accompanied by intensive boiling leading to a new eruption. The stage of filling lasts for about 18–20 min, while the outflow stage takes 31–33 min. Long-term observations have shown that in spite of the stable nature of the geyser eruptions, duration of its cycle varied within a wide range. Occasionally, the geyser Pervenets had been working in the pulsating regime, that is, continuously, without any breaks.

The beauty of this geyser is underlined by the picturesque valley of the Shumnaya river, whose waters rush right beside the vent of the

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



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

41. Valley of the Shumnaya river at the area of the Pervenets geyser. In the background – remnants of the dyke Tsarevna Lyagushka

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).

boiling fountain. Steep banks form a gorge, and the Shumnaya river bursts through its black cliffs clouded by splashes of falling water. To the right, a gently sloping waterfall-gorge can be seen at the mouth of the Sestreonka (Sister) river. If to look at the Pervenets from a place down the Shumnaya current, one can not but notice a queer remnant of lacustrine sediments called Tsarevna Lyagushka (Frog-Princess) (photo 41).

## Участок Тройной (II)

## Troynoy Site (II) (Triple)

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 дайку 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 дайку, 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.

There are no active thermal manifestations in the area between the first and the second sites of the Geysernaya river basin, beside a narrow strip of heated ground with temperature of 20–50 °C (depth of 1 m) stretching for more than 400 meters along the Geysernaya banks. Surface thermal anomalies, occasionally with steaming ground, are also traced over the valley of the brook of the Yellow Ravine, entering the Geysernaya river from the left, 150 away from its mouth. Peculiar curiosity of this part of the Geysernaya basin is the place where the river cuts the dacitic dyke, forming plumb rocky banks, the so-called «cheeks» about 35 m high. Natural narrowing forms a sort of the gates into the Valley of Geysers now called the *Vorota Triumfalnuye* (Triumph Gates) (photo 34). A vertical rock towers above the river 100 meters up its current, which also presents a dyke sometimes called «the Second Gates into the Valley of Geysers». Note that the path to the Pervenets geyser runs above the river, at the level of the upper edge of the mentioned rocks. The Troynoy thermal site starts even higher up the river course. From here, alternating small springs, large geysers, mud pots and other thermal manifestations can be almost uninterruptedly traced up to the area of the Verkhny (Uppermost) geyser.

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.

Three geysers are known within the second site: Troynoy (Triple), Sakharnyi (Sugary) and Sosed (Neighbor); a hot brook also called Troynoy separates the Sugary and Neighbor geysers from the Triple one. Here, the river has steep sides without any vegetation, composed of the clay rocks at the surface. Ground temperature at the depth of 1 meter exceeds 70 °C. Small pulsating springs and areas of steaming ground are also reported within the basin of the Troynoy streamlet.

*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.

The *Troynoy (Triple)* geyser is located 30 m away from the river, 11 m above its level. In the course of its operation, a thick geyserite sheet was formed gently descending from the geyser down to the river. It is the largest (over 100 m<sup>2</sup>) and the most magnificent geyserite construction, distinguished for its manifold pattern, shape and color of the sinter. Impressive is also the eruption of the geyser occurring as a simultaneous ejection of thick steam-water streams oblique to the river, from three vents to the height of 7–10 m (photo 42, 43). This action lasts for 4–6 m, being the most intensive at the beginning; first, the ejection is stronger from the right vent (if to look at it from the riverside), and then from the central one. Short eruption and also short steaming stage (about 5 min), are



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

42. Three steam-water jets rising above the majestic geyserite construction during the eruption of the Troinoy geyser

followed by a durable period of the channel replenishment and outflow. The complete cycle of the Troynoy geyser ranges from 2 h to 3 h 40 min.

*The Sakharnyi (Sugary) geyser* occupies the top of a geyserite cone with flattened surface. Its crater is fringed with rock blocks consolidated and covered by pink-pale geyserites (photo 44). Geyser operation is quite unstable. Its periodicity changes from 2 to 24 min, average duration of the cycle being 3 min. After the eruption, the channel is filled irregularly, jump-like, and sometimes boiling water splits over the vent edges, which can be taken for a new burst-out, but it is false. During a short (a few seconds) ejection, steam-water mixture is shot up to the height of 2–3 m, thus emptying the geyser crater.

*The Sosed (Neighbor) geyser* is settled up the streamlet, 4 m away from the Sugary one, at their common geyserite basement (photo 45). Grey and pinky sinters of the Neighbor stand out at the background of red and yellow clays and green grass surrounding the geyser area. Hot water pools also hide in the grass. The channel vent of the geyser looks like a crack sized 0.5 x 1 m. The cycle of the geyser operation is also unstable. One can distinguish the

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, цементированными 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 выплескивается 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 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



43. Красочный гейзерит гейзера Тройного

43. Vivid geyserite of the Troinoy geyser



44. Гейзер Сахарный

44. *Sakharnyi geyser*

высоту более 3 м. Заполнение канала водой длится 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.



45. Извержение гейзера Соседа рядом с Сахарным (слева)

45. *Eruption of the Sosed geyser beside the Sakharnyi one (to the left)*

stage of spouting lasting for 2 min, during which steam-water mixture is shot obliquely along the slope to the height of more than 3 m. The channel is filled up with water in a few minutes, then the outflow occurs (a few seconds), followed by the boiling resulting in a new ejection. Long-term monitoring of the geyser revealed significant changes of the operation cycle: from 3 min to 1 h 40 min, 25 min on the average.

## Участок термопроявлений ручья Водопадного (III)

## Thermal manifestations of the Vodopadny (Waterfall) Brook Site (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 подножья 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 расстояние 750 м. Отмеченные здесь все виды поверхностной гидротермальной активности имеют миниатюрное исполнение. Так, можно 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,

100 m above the Troynoy Streamlet, the Geysernaya river conflues with its largest left tributary, the Vodopadnyi brook. Some 110 m away from the mouth, the brook water that could not cut through solid rocks skips down from the height of 28 m forming a beautiful waterfall (photo 46), which seems to be the most attractive area in this part of the Geysernaya valley. Steam-water jet of a small pulsating spring can be seen at the foot of the waterfall, while a few meters down, there operates the geyser called U Vodopada (Near-Waterfall).

From the near- mouth area of the Vodopadnyi brook, the thermal site extends as a narrow band along the basin for 750 m and reaches the mid-current of the brook. All types of surface thermal activity are characterized by their diminutive form. Thus, hardly visible tiny boiling springs conceal themselves among the grass, clays and geyserrite fragments; the springs can often be discovered only by slight steaming or typical sound of bubbling water. Numerous are little mud pots, various craters and pools with hot and boiling water bounded by low geyserrite rims. Sometimes, they occupy typical geyserrite of clay domes inclined to the brook. Hot water, running over their surface and surrounded by thermophilic algae and

colored stones and sinters, makes them look amazingly vivid. Naturally, of certain interest are some separate large springs and geysers, among which the above mentioned U Vodopada geyser, as well as Malyutka (Baby), Plosky (Flat), Teremok (Fairy-Tale House) and Vorota v Geysernuyu (Gate into Geysernaya).

*Geyser U Vodopada* (Near Waterfall) is located at the left bank of the brook. It can be easily recognized by a vee-type geyserite construction, 1.5 m high. Three vents in its side are connected with the geyser channel supplying heated water. Middle and upper vents are set close to each other and water arrives to them simultaneously, though steam-water mixture first comes out of the lower vent. 4 min long

eruptions are quite inexpressive. Irregular shots of steam-water mixture reach only 0.5 m in height. Stages of steaming and impoundment take 18 min, followed by 5 to 9 min of outflow. Average periodicity of the geyser is 27 min.

220 m up the creek after the large waterfall, one of the most amazing pulsating springs is settled, called Averii. It was named after a volcanologist, V. V. Averiev. On the way to this spring, one can come across a small waterfall (only 1.7 m high), as well as some minor thermal springs and mud pots. The form of this spring changed with time. First, it was located within the river-bed. Hot water spilled from under the pebbles heating the brook water in this area. Nowadays, dispersed outflow of water (whose temperature reaches 95 °C) occurs from the ruins of a travertine construction on the right bank. The highest temperatures of water in the Vodopadnyi brook are reported a bit down of this spring, reaching 30–35 °C, and even 41 °C (in winter).

Further up the brook basin, unremarkable pulsating boiling springs take place, and 100 m away from the last named spring, the Malyutka (Baby) geyser is distinguished. Its operation lasts only one minute, the eruption taking 20 s, with 40 s of the pause. Right after the brook bend, there goes a wide white strap of a nice waterfall, about 3 m high. Beside it, on the left bank of the brook, a notable Fakel (Torch) spring can be found, whose steam-water column, in the form



46. Водопад на руч. Водопадном  
46. Waterfall on the Vodopadnyi brook

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 трапециевидной 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 руч. 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).

Следующая активная группа термопроявлений приурочена к месту впадения в Водопадный справа руч. Теремкового. Верхняя часть склона до высоты 40 м между Водопадным и левобережьем руч. Теремкового обнажена и сложена разноцветными глинами. Здесь можно встретить площадки парящего грунта, парогазовые струи, грязевые и водные котлы. В устье руч. 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



47. Кипящий пульсирующий источник Факел на левом берегу руч. Водопадного  
47. Boiling pulsating spring Fakel on the left side of the Vodopadnyi brook

of a vertical pulsating fountain, is shot up for 2 m from the vent in the steep wall of the slope (photo 47).

The next group of active thermal manifestations is confined to the confluence point of the Vodopadnyi and Teremkovyii brooks. Upper part of the slope, to the height of 40 m between the Vodopadnyi brook and the left side of the Teremkovyii brook, is outcropped and composed by multicolored clays. Areas of steaming ground, steam-gas gets, mud and water pots occur here. At the mouth of the Teremkovyii brook, the analogous *Teremkovyii spring* is located (photo 48). Small major stream of hot water periodically splits from a vent in the middle of the cone-shaped construction of the spring, and runs along the hollows surrounded by multicolored thermophilic algae. Similar leaned cones, light-brown due to silica leakages, with tiny vents of thermal water, have also been reported further up the Vodopadnyi brook. On the other side of the brook, the surface of a dome-like elevation is occupied by small boiling springs and pots, and the diminutive Ploskii (Flat) geyser. During the outflow stage, hot water runs out of a vent (10 cm in diameter), banded by a skirting of geyserite fragments and clays. Its eruption starts from a poorly manifested boiling whose intensification results in water splitting over the edges of the crater. In quiet periods, the channel is emptied for a few seconds. Average duration of the cycle is 2 min, while the eruption itself takes 50 s.

Further up the brook course, past its zigzag-like turn, about 100 away from the Ploskii geyser, there occurs the last area of quite vivid thermal manifestations. On the left bank, a 1.2 m high cone covered by a crust of geyserite is leaned against the steep composed by ledge rocks (tuffs). Its upper part opens in a rounded vent 40 cm in diameter and 85 cm



48. Пульсирующий источник Теремковый в долине руч. Водопадного  
48. Pulsating spring Teremkovyi in the Valley of the Vodopadnyi brook

in depth. This is the *Teremok* (*Fairy-Tale House*) geyser. It mostly operates in the pulsating spring regime, characterized by separate splashes reaching up to 40 cm and splitting water over the crater edges. Infrequent eruptions start all of a sudden; boiling water is shot up to 0.5 m all over the crater surface. Spouting usually lasts 50 s, the complete cycle taking about 80 min. 10 m away from this geyser, pulsating spring *Vorota v Geysernuyu* (*Gate into Geysernaya*) is located, with a flat crater containing boiling water that is periodically tossed up to a few centimeters.

Finally, opposite the above spring, a geyser of the same name operates. Both the spring and the geyser are located along the old path running beside the *Vodopadnyi* brook, from the Mountain Plateau to the Valley of Geysers. They were the first to be seen by anyone entering the magnificent world of geysers, due to which V. N. Vinogradov named them this way when first characterizing their operation. Geyser *Vorota v Geysernuyu* is placed near the brookbed, within a small crater whose walls are composed by rock fragments sintered by siliceous deposits. Eruption of this geyser occurs as intensive boiling, with water splashes up to 30 cm high. Duration of its cycle is unsteady. Presently, the geyser operates with alternating periodicity of 13 and 50 min. The smaller cycle includes a short, 1 minutes' eruption, while that of the larger one lasts 32 min.

The thermal site ends 100 m up from the spring and geyser *Vorota v Geysernuyu*. Further on, *Vodopadnyi* becomes a typical cold mountain stream, without any supply of thermal waters. No visible thermal manifestations can be noted in the upper part of its basin.

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, извержения – 50 с.

Дальше вверх по течению ручья, за его зигзагообразным 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 характеризуя 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 одну минуту, 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 Водопадной 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 термоявлениями являются на левом берегу *кипящий источник Сковородка* 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, Буратино и карликовые гейзеры.

Первым на участке встречается *гейзер Недоступный*, описанный Н. Г. Сугробовой 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. Потoki 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

## Site Skalistyi (Rocky) (IV)

Further up the course of the mouth Vodopadnyi brook, the valley of the Geysernaya River becomes narrower again, steep slopes rising over its both sides. Along a straight area, almost 150 m long, the most outstanding thermal manifestations are small water seepages on the right bank, and a *boiling spring* named *Skovorodka (Pan)* on the opposite side. The thermal site starts from small-discharge boiling pulsating springs on both banks. Surface thermal anomalies with the temperature over 70 °C at the depth of 1 m, stretch in a narrow line along the river, notably widening at the left slope at the beginning of the site, beside the Skalistyi Geysir, and at its end, opposite the pulsating spring called Romeo and Juliet. Site IV hosts geysers Konus (Cone), Skalistyi (Rocky) and Bolshaya Pechka (Large Oven), described by T. I. Ustinova, as well as first reported geysers Nedostupni (Unacceptable), Tekutchii (Floating), Buratino and some diminutive geysers.

The first geyser to be met in this site is *geyser Nedostupny*, described by N. G. Sugrobova in 1976. The fountain of this geyser can be seen at the right slope of the valley, about 10 m above the water level. Its height reaches 1 m. Its



49. Извержение гейзера Скалистого

49. Eruption of the Skalistyi geyser

© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

spouting period lasts 40 s, outflow with boiling – 90 s, interval between the eruptions being 13–16 min. Its mean cycle takes about 14 min. Active thermal ground hosting several steady boiling springs is located on the left side of the valley. One of those springs is Dvukhrucheinyi (Double-Stream). Running out of a slot in the slope, water spills in two streamlets whose total discharge makes 1.5 l/s.

Further up the river, on its left side, *geyser Skalistyi* can be observed (photo 49). It is located 10 m above the water level, in the rocky part of the slope. The geyser operates both in pulsating and interrupted regimes. The eruption can hardly be distinguished from the outflow, accompanied by the boiling of water. In the moment of spouting, steam-water streams soar up to 1 m, and more steam is emitted, if compared to the outflow period. Boiling water almost uninterruptedly flows down the geyser construction. Pauses in the geyser operation take only a few seconds. Duration of its cycle varies from 7 to 15 min, the flow rate being 20 l/s at the maximum outflow stage.

At the foot of the Teremkovyi geyserite construction, one can see a powerful boiling *spring called Podskalnyi (Under-rock)* with about 5 l/s of discharge. On the right bank, 20 m up the river from the Teremkovyi geyser, a slot has remained resembling an aperture of a stove. This used to be the vent of the geyser named *Bolshaya Pechka (Large Oven)* that stopped operating after a powerful cyclone Elza in 1981, due to which the geyser channel was stuffed by solid weighted particles of the Geysernaya river. When the geyser was still erupting, its almost vertical streams of water and steam, gushing above the river, made a rare beautiful picture (photo 50).

Geysers Konus and Tekutchii occupy the left side of the Geysernaya river, just opposite the geyser Bolshaya Pechka. *Konus (Cone)* is remarkable for its beauty and proportionality of the boiling fountain and geyserite construction. The latter looks like a cone 1.5 m of height, whose truncated top is the channel vent itself. The surface of the cone is covered by elegant geyserite (photo 51). Magnificent view of the construction is accomplished by the exciting geyser eruption, particularly by the powerful shots of steam-water mixture to the height of more than 2 m, large drops of water scattering all around (photo 52). Duration of a complete cycle of the geyser operation ranges from 18 to 25 min, mostly often being 24 min. The outflow stage takes 2–3 min, while the stage of filling (quietness) – 19 min.

Not far from the Konus geyser, 15 m down the river course, a hardly noticeable *geyser Tekutchii (Floating)* is settled, first reported in 1976. Boiling water runs out of a triangular slot sized 10 x 10 x 10 cm located in a rut of the grassy slope. The hem of dark-green thermophilic algae frames the slot. In the operation of this geyser, we distinguish water outflow with boiling during 15 min, that results in the increasing discharge rate and splashes of water from the crater, which lasts 2 min.

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).



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

50. Geyser Bolshaya Petchka. Photo made before its collapse in 1981

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 рывине заросшего травой склона. Отверстие 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.



51. Гейзеритовая постройка гейзера Конус

51. Geysite construction of geyser Conus

В 50 м от гейзера Конус, 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

The geyser operates a complete cycle for 22 min, though more durable cycles up to 30–47 min were also reported. Geysite cores can be observed along the course of the streamlet.

On the right bank, 50 m up of the Konus geyser, another pulsating boiling spring is called Kamenka. Its vent is lost among large rock fragments, straggling beside the river. The water of the spring whose flow rate occasionally increases, flows among the stones down into the river. Puffs of steam are constantly curling above it. A number of tiny vents of boiling water can be noticed on the right bank, a bit up of the Kamenka spring. Among them we distinguish a pulsating spring Nechaevskii, hidden under a big stone. Further up the river, 80 m away from Kamenka, the geyser named Buratino is set on the left bank. From this geyser and till the Teremkovyi one, the river runs southwards for about 200 m. This part of the river is peculiar, because here steep slopes of the valley locally approach the river in the form of precipices 1–4 m high, to which all the springs found in this area are confined. This is especially true for the left side; as for the right one, the precipice is pronounced in the zone opposite Buratino, where diminutive geysers and the spring of Romeo and Juliet are located.



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

52. Large drops of hot water in the fountain of steam-water mixture characterize the outburst of the Konus geyser

Geyser Buratino sits in the scroll of the Geysernaya, 4.5 m above the river. In the flattened lower part of the slope, 8 m off the river, a chink is visible, which is the vent of the geyser channel. The construction looks like a heap of disorderly stacked stones covered by geysite crusts. In the moment of eruption, the geyser ejects a little bit inclined steam-water streams to the height of up to 2.5 m. The spouting lasts one minute, the complete cycle taking 6–10 min.

Opposite Buratino, in the near-channel part of the right slope of the river valley, one can



© Суаробоев В. М. / Sugrobov V. M.

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

53. Pulsating springs of Romeo and Juliet are singled out on the right bank of the Geysernaya river

observe typical for the Valley of Geysers thermal water discharges in the form of tiny springs and geysers whose surface is constituted by geyserite or siliceous leakages formed in the result of dissolved silica precipitation from thermal waters. T. I. Ustinova calls them the Walls or Slopes of Diminutive Geysers. In the case considered, such a wall, 10 m long and about 4 m high, hosts three miniature geysers and a number of tiny springs. Eruptions of those three occur in the form of outflows or poor splashes of water from the vents. For the first one, mean cycle takes 8 min, for the second one – a few seconds, while for the third one it lasts about 31 min. Their neighbors are two close pulsating springs located 7 m off the river, on the right side of a cold streamlet. Both water discharges are at the height of 2.5 m from the streamlet, in its abrupt slope; two steaming water paths run on its surface. V. N. Nechaev called these springs *Romeo and Juliet* (photo 53).

From the lower border of the next site (V), that is from the mouth of the Putevodnyi (Guiding) Brook outlying 160 away from the springs of Romeo and Juliet, the river runs southwest, abound in riffles most frequent at the left bank littered with large rock fragments. Small boiling springs can be found here. Surface thermal anomaly with the temperature above 70 °C at the depth of 1 m stretches in a narrow line along the river.

кипящей воды. Среди них выделяется пульсирующий источник под большим камнем, воронка которого напоминает отверстие печки, – *Нечаевский*. Еще выше по реке, в 80 м от Каменки 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 вылаживается.

*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 натечками, образованными при выпадении растворенного кремнезема из термальных вод. Т. И. Устинова называет их *стенками* или *склонами 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 натечков стекают два парящих ручейка. Эти источники удачно названы В. Н. Нечаевым *Ромео и Джульетта* (фото 53).

От нижней границы следующего (V) участка, устья руч. Путьводного, 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 °C на глубине 1 м тянется узкой полосой вдоль реки.

## Участок Лагерный (V)

## Site Lagernyi (Camp) (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 x 2 м при видимой глубине в 1 м. От воронки в сторону реки тянется сероватый шлейф кремнистых и гейзеритовых натеков, обволакивающих бугристую неровную поверхность скоплений 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

The upper (river) border of the sector goes along the channel of the Dvuglavyi brook, flowing into the Geysernaya from the right. From this brook, the river runs southwest for 100 m, then suddenly turns northwest, and takes its previous direction only 100 m further, just before the Putevodnyi brook. Slopes of the valley are still quite steep, short precipices occurring beside the channel. Somewhat widening surface temperature anomaly is also reported on both sides, and approximately in the middle of the site, along its left side, the margin of the anomaly rises high, almost reaching the house of the forester and helipad. The most significant geysers of the site are undoubtedly Malyi (Small) and Bolshoy (Large), first described by T. I. Ustinova.

*Geysers Malyi* is set in about the middle of the above mentioned part of the Geysernaya, at its sharp turn, on the left bank. The vent of the geyser channel is notable within a small ground just beside the abrupt rise of the slope, at the height of 6 m and 15 m away from the river. The vent has a rounded shape sized 1 x 2 m, with an apparent depth of 1 m. Grayish plume of siliceous and geyserite sinters stretches in the direction of the river, enveloping bumpy and uneven surface of rock block clusters (photo 54). Peculiar effect of the Malyi eruption is manifested in violent ejections of steam-water spouts up to 10 m high (photo 55, 56). The steam rises up to 40–100 m and higher, depending upon the weather. During the outflow and spouting, hot water trickles run all over the



54. Воронка канала гейзера Малого перед началом извержения

54. Vent of the Malyi geyser channel before the initiation of eruption



55. Извержение гейзера Малого

55. Eruption of the Maloyi geyser

geyserite shield. Total water flow rate in the stage of spouting makes 70 l/s.

The eruption accompanied by rustle takes 4 to 6 min. The next 6–7 min are marked by intensive steaming, at the end of which a subdued rumble is heard induced by water movements in the depth. Some time later, water appears at the bottom of the crater and then fills it up, which takes about 20 min. Then the outflow starts that lasts about 4 min and results in active boiling, great volumes of steam being emitted and water being randomly splashed over the crater edges. Then spouting starts again. Many-years' observations have shown that the cycle of this geyser has been quite stable and equals 32–37 min.

Geyser Bolshoy occupies a hollow in the left slope of the valley, more that 11 m above the river, 40 m off it and about the same distance away from the Maloyi geyser up the current. The vent of the geyser channel is a bit elevated forming a dome-like construction in the center of the top part of a hollow on which during the stages of outflow and spouting drain of water occurs. Rock debris covered by siliceous sinters and geyserite also form uneven and bumpy surface of the hollow. In the moment of water outflow, the slope to the river with several inflexions and lots of tinny juts turns into a sort of multi-step waterfall, transient hot pools appearing in flattened areas. Upper visible part of the geyser channel forms quite a voluminous bowl with uneven edges, outlined as an irregular lens sized 1.5 x 3.5 m and over 1.5 m in depth. The dome and edges of the bowl (crater) used to be covered by geyserite, now gray-green tuffs are seen on the surface (photo 57). Difference between the sizes of the upper part of the channels of geysers Bolshoy (Large) and Maloyi (Small) probably prompted T. I. Ustinova to give them such names.

Active period of the Bolshoy geyser operation starts from the outflow of nearly boiling water of the crater, which lasts

наблюдений был достаточно стабильным и равнялся 32–37 мин.

*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 находится 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



56. Причудливые струи воды в извергающейся пароводяной смеси гейзера Малого

56. Queer water streams in the overshooting steam-water mixture of the Maloyi geyser

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 по измеренному нами объему опустошенной камеры, составляет 17,7 м<sup>3</sup>, 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 излива 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 излива и извержения остаются практически неизменными.

Помимо вышеназванных гейзеров на участке близ русла реки встречается множество других мелких и крупных



57. Большая воронка венчает на поверхности канал гейзера Большого

57. Large crater crowns the Bolshoi geyser channel on the surface

10–15 min. In the course of the outflow, especially in its final moments, water is boiling violently, and a gryphon about 0.5 m high often rises at a side of the pool. The consequent eruption is magnificent by the power with which steam-water mixture is shot all over the section of the crater (photo 58, 59). Spouts of hot water reach 10–15 m in height, while the steam rises up to 100–200 m. The spouting usually takes 4–6 min, being maximal in the first 2–3 min, then getting pulsating and finally being replaced by random splashes up to 3–4 m and intensive steaming. During the spouting, a rapid hot water torrent runs over the geyserite slope (photo 60).



58. Гейзер Большой. Начало извержения

58. Bolshoi geyser. The beginning of eruption



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

59. Bolshoi geyser. Jets of hot water at the moment of eruption rise on height of 15 m

Amount of water ejected, judging by the volume of the emptied chamber, makes  $17,7 \text{ m}^3$  that is approximately 60 l/s.

The pause in the eruption is marked by reducing of the volume of steam emitted, and, within the crater, by gradual lowering of the level of water that disappears in the channel and then emerges again, after the channel is filled by new water portions. The water level in the crater rises again, and a new operation cycle starts. The interval takes a bit more than an hour. Bolshoi geyser is characterized by random alteration of short (80–90 min) and long-term (125–140 min) operation cycles, the latter being due to the prolonged pause, while stages of outflow and eruption remain almost constant.

Beside the above geysers, lots of other small and large boiling springs can be met in the area close to the river

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 обвального-осыпных пород и галечника, на высоте 1–1,5 м над урезом воды. Расход их не превышает 1 л/с. К этой группке относятся три гейзера.

Самый дальний – *гейзер Красный*. Его воронка окружена измененными под воздействием гидротерм породами красного 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 (один метр 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 выделяют 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 натечков и гейзерита. Из-за неровностей стенка, покрытая ими и украшенная разноцветными термофильными



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

60. During the eruption of the Bolshoi geyser, hot water runs over the trough whose surface is covered by geyselite shield. In the foreground – geyselite construction of the Malyi geyser

channel. The first to be mentioned among them are two pulsating springs placed at the foot of geyselite shields of the geysers Bolshoy and Malyi, the two named *Sekretar Bolshogo* (Large's Secretary) and *Sekretar Malogo* (Small's Secretary). Water is boiling in flat funnels filled with pebbles, spilling the drops around to about 3 m away. Down the current from the Malyi geyser, several smaller springs and geysers can be found 3–4 m away from the river, among the collapse-slough rocks and shingle, 1–1.5 m above the water level. Their debits do not exceed 1 l/s. The following three geysers are confined to this group.

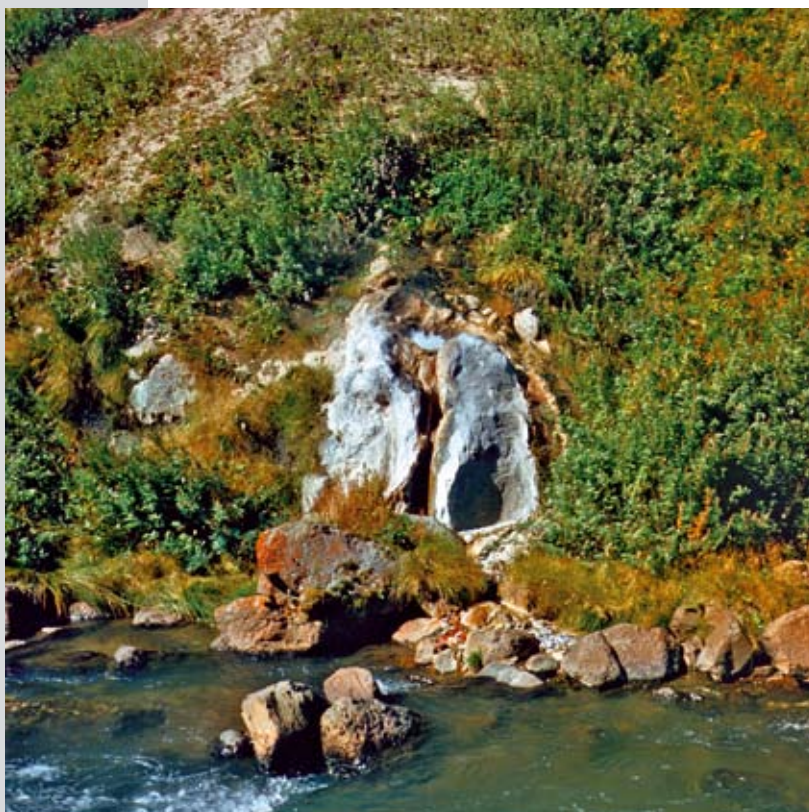
The crater of the *Krasnyi* (Red) geyser is framed by the rocks altered under the effect of hydrotherms. Geyselite covering scattered debris is also tinted reddish. The height of the geyser channel vent is not more than 2 m. Geyser operation starts from water outflow from the crater, proceeding to the spouting, in the course of which, splash of boiling water occurs all over the surface of the crater to the height of 40–50 cm. The cycle duration varies from 17 s to 3 m 40 s.

20 up the river from the Red geyser, another one is located called *Peshchernyi* (Cave), whose vent can be seen among huge (1 m in diameter) blocks of original rocks. During the eruption stage, water spurts are shot from under the stones for 35–90 s. The pause lasts about 2 min, the outflow – 1 min. 1.5 m away from Peshchernyi, a tiny *Kruglenkii*

(Round) geyser occupies a crater 20 cm in diameter. Its fountain rises only to 50 cm, but is notable for the large drops of splashing water. Its cycle is not very durable, making about 9 in, including the outflow (30 s), eruption (80 s) and the pause (7 min).

3 pulsating boiling springs are distinguished on the right bank of the Geysernaya river, ones named *Ustievoi (Small Mouth)*, whose hot water discharge of 0.5 l/s is confined to a slot in the tuffs; *Gnom (Gnome)* and *Malaya Pechka (Little Oven)*. Gnome is set 40 m down the river from the Malyi geyser (photo 61). Water comes out of a slot sized 10 x 30 cm at the bottom of a steep slope, 0.4 m above the river, and runs over the almost vertical wall forming two small streamlets. Black, dark-green, yellow-green and pinkish thermophilic algae framing the vent and the streamlets resemble the cap and the beard of a gnome.

Opposite the spring of Sekretar Bolshogo, the spring of Malaya Pechka is located (Photo 62), whose crater, together with a small gryphon of boiling water and steam resembles a smoking aperture of a stove. It is separated from the channel by a mass of stones, and is set a bit above the river brink. Nowadays, water discharges uninterruptedly, but by jerks with a small



61. Кипящий пульсирующий источник Гном

61. Bubbling pulsating spring Gnom



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

62. Ejection of boiling water and steam from the slot of the spring Malaya Petchka

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 внизу. Характер работы такой же, 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 постройки, напоминающей обезглавленную человеческую фигуру. Вода выходит из отверстия на вершине этого оригинального сооружения.



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

63. Trail of siliceous sinter and geysers in the area of tiny boiling springs and geysers – B. I. Piip's wall

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.

flow rate of about 1 l/s. However, this spring was in its time reported by T. I. Ustinova as a geyser. A flat cone of geysers rises above it, whose top crowns a microscopic boiling spring.

Further up the river, tiny springs are distributed at different levels of the vertical part of the slope. Plume of siliceous leakages and geysers stretch along the pathways of hot water flows; due to its unevenness, the wall covered by them looks queer and picturesque. In the course of time, this assemblage of tiny geysers and springs got the name of *Piip's Wall*, after a famous volcanologist, B. I. Piip. The wall extends 25 m along the river, towering 8–10 m above it (photo 63). Among the tiny geysers, the lowest one, named *Starik (Elder)*, has a cone-like edifice, put a bit aside of the slope. In its active stage, it spills a fountain of hot drops for about 40 s, complete cycle taking about 7 min. Its neighbour is the *Boroda (Beard) geyser*, from whose vent a colored geysers trail crawls down the wall. The operation nature is the same as that of the previous geyser, but the complete cycle is more durable and takes 28 min. Further down the wall, we distinguish the *pulsating spring of Zhulien*. Though this spring is not very large, and water is ejected by tiny trickles, it is attractive by the form of its construction, reminiscent of a headless human figure. The water discharges from an opening at the top of this distinctive structure.

80 m up the current from the Piip's Wall, another pulsating spring is located on the right side, with a peculiar edifice in the form of a truncated cone, divided in two by a fillet of flowing water. We call it *Persik (Peach)*. Here passes the conventional upper border of Site V.

## Участок Щелевой (VI)

## Site Shchelevoy (Slot) (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 термопроявления левобережья руч. Щелевого. Скромный по количеству крупных гейзеров, участок отличается

This site, together with the next (VII) one, presents the central, main part of the Valley of Geysers, where most large and effective geysers are concentrated, as well as all types of surface hydrothermal activity. This is the place first shown to all visitors of the Valley of Geysers. Planked paths lead from the helipad and ranger's house to the geysers and other thermal manifestations. Observation platforms are arranged at the most exciting places.

If to typically attach to the Geysernaya River, Site VI starts around the place where, on the right bank, geyser *Poperechnyi (Transverse)* is located. Though hosting quite a few large geysers, this site is notable for the diversity of types of surface hydrothermal activity. Only here, over the relatively small area, one can observe co-existing a typical geyser (*Shchel, Crack*), a wall of tiny geysers beside the *Poperechnyi brook*, geysers *Vanna (Bath)* and *Kotly (Pots)*,

so peculiar in the structure of the mouth parts of their channels, as well as mud and water hot and boiling pots, and pulsating springs and steam jets hidden in small depressions of microrelief. For instance, this site hosts geysers whose discharge vents have the form of bays in the walls, called by T. I. Ustinova «stoves». One of such *geysers* (*Grotik*) is placed on the left bank of the Shchelevoi Brook, 3 m from its steep descent to the Geysernaya River. Surface thermal anomaly with ground temperature exceeding 70 °C at the depth of 1 m can be traced not only in the near-channel part of the river, but it also occupies a flattened terrace-like slope of the left side of the Geysernaya River and Shchelevoi Brook. In site V, it almost reaches the helipad and ranger's house (photo 64).

From here, excursion trips start around the Valley of Geysers, and in this case, it is better to begin the description of thermal manifestations from this very place. The timber deck, turning into the stairs at the steep slopes, first leads to the incline of a natural hill, where the house is set, and there splits in two paths. The right path comes out to the flattened part of the left slope of the valley, while the left one goes down to the Geysernaya river and to the observation platform of the Bolshoi geyser. Before descending to the observation platform, it makes a turn and stretches up the river course along the edge of its flattened slope, and, 150 m away, it goes in a staircase manner down to the Geysernaya river. Here, in the middle of the slope, an observation platform is arranged, from which one can see the Shchel geyser (to the right), and opposite it – a group of thermal manifestations with a small geyser called Pyatiminutka (5 min).

*Geyser Shchel* is located in a depression above the shelf of the left bank, at the height of 6 m. Its name and first description were given by T. I. Ustinova. Three vents of the geyser channel are visible within a crack, cutting a small upswell in the depression (photo 65). Beautiful fine- and coarse-grained geyserite covers its surface and edges of the crack. Geyser eruption occurs in the form of simultaneous shots of water-steam mixture out of the three vents in the direction of the slope, at an incline of 50°. Boiling water fountains to the height up to 2 m. Eruption proceeds one minute; the periodicity making 35–37 min.

Opposite the Shchel geyser, almost at the edge of a steep right slope, a rounded crater hides the vent of the *geyser Pyatiminutka*, ejecting small steam-water spouts a few centimeters high. The spouting takes 50 s, the whole cycle taking 4,5 min. A bit up the slope, a *pulsating spring* named *Krepost* (*Fortress*) is set, with a peculiar construction composed of debris cemented by siliceous deposits (photo 66). Down the river course, about 80 m away from the above springs, a *group of tiny geysers* is observed in the near-channel part of the slope also called the Wall of Site VI. Three tiny geysers are notably singled out among them. The first one is located near the river. Water comes out of a crack at the top of the cone slightly declined from the surface of the wall and being 1 m high. The eruption, consisting in some splits of boiling water a few centimeters high, lasts 65 s, the complete cycle taking 18 min. A bit above it, the second geyser's construction presents a leaning cone

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 микро рельефа 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 °C на глубине 1 м прослеживается не только в прирусловой 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, расщепляющей 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 одну минуту. Периодичность 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

0.5 м high, whose fountain rises up to 30 cm for about 55 s, periodicity making up 19 min. 30 m away from the latter two geysers, another one is located (Poperechnyi), whose eruption lasts 40 s while complete cycle takes 2 m 45 s.

To visit the other places of hydrothermal activity of Site VI, one should climb up the stairs passing by the Shchel geyser, and turn left by the timber deck. And, just a few meters further on, there opens a real Kingdom of outstanding peculiar thermal manifestations, mud and water hot and boiling pots. One of them called the Bolshoi gryazevyi kotel (Large mud pot) is located to the right of the pathway, among the high-grass. Not far from it, beside the active thermal manifestations, stands in beauty a single Ehrmann's birch – the *Birch of the Valley of Geysers*. Amidst the



© Суеробов В. М. / Sugrobov V. M.

64. Разнообразные термопроявления террасовидного склона левобережья Гейзерной на центральном участке

64. Various thermal manifestations of the terrace-like slope of the Geysernaya left bank on the central site



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

65. Канал гейзера Щель в стадию парения

65. Vent of the Shchel geyser channel in the stage of steaming

herbage, striking are two large dark hollows of deep holes, at the bottom of which there exists a pulsating spring *Vrata Ada* (*Gates to Hell*). Separating from water, steam forms a light white cloud, more prominent above the larger hole.

The *Large mud pot* is the largest one in the Valley of Geysers. Its oval is sized 17 m along the longer axe, and 12 m along the shorter one, being 2 m in depth. The bottom and the sides are composed of red clay, due to which, it is often called The Red Pot. The state of the pot changes depending on the volume of surface waters entering the pot. It can be dry to the very bottom with just some accumulation of liquid mud, periodically tossed by bubbling steam. During dry seasons, its clayey sides are freaked by deep cracks dividing the surface into blocks. In the period of snowmelt and rainfall, water level within the pot rises up to its edges, and it turns into a small thermal lakelet, with

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



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

66. Миниатюрный кипящий пульсирующий источник Крепость

66. Tiny boiling pulsating spring *Krepost*



67. Большой грязевый котел (Красный)

67. *Large mud pot (Krasnyi Red)*

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). 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 *Утинное*, расположено справа от дорожки, которая по другому краю термальной поляны ведет к домику лесника. С юго-западной стороны по берегу озерка наблюдаются и горячие, совсем миниатюрные, грязевые котлы.



68. Большой горячий водный котел Голубой

68. *Large hot water pot Goluboi (Blue)*

occasional bubbles of steam and gas appearing on its quiet surface.

Smaller pots and craters also occur here, with various character of manifestation of thermal activity, from intensive boiling of liquid clayey matter to the state of ditch-water (photo 67). It is associated with the fact that each thermal manifestation is characterized by a peculiar ratio between the steam and hot water supply from the depth and the rate of the outflow of surface water. In the case when water supply predominates, mud pots turn into water ones (for example, the *Goluboi (Blue Pot)*) or warm lakelets (photo 68). Water in them varies in temperature and chemical composition. Depending upon the color of clays composing their bottom and sides, pots can be red, green, blue and other colors and hues. The largest among such warm lakes, named *Utinoye (Duck's)*, is located to the right of the pathway that leads to the Ranger's house along the other margin of the thermal field. Tiny hot mud pots are distributed along the shore of the lake from the south-west.

## 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,

## Site Centralnyi (Central) (VII)

Most known large geysers are concentrated in this area (photo 69). It borders Site VI and occupies lower part of the Geysernaya valley slopes, where surface thermal anomaly with temperature over 70 °C is also recorded at the depth of 1 m. Conventional margin of the site (fig. 5, 6) is the mouth of the Shchelevoi brook, a small bridge over the Geysernaya river and a boiling *pulsating spring* named *Malakhitovyi Grot (Malachite Grotto)* located on the left bank, close to the water edge. Splashing water jet rises up to 1,5 m. The spring itself is always enveloped in steam puffs (photo 70); its operation regime is unstable, pulsating. The flow rate from the Malakhitovyi Grot makes about 2 l/s. Further up the river, at the foot of an abrupt slope, a boiling pulsating spring *Mnogostruinyi (Multijet)* discharges its waters out of a vertical hole just by the river brink. The fountain of steam-water mixture shots at an angle of 30–45° in the direction opposite to the river-course. Streams



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

69. General view of the Centralnyi site. There is Ploshchadka fontanov in center; Fontan geysers are erupting; Mnogostruynyi and Malakhitovyi Grot are steaming

of steam and water are ejected in the pulsating regime for up to 2 m (photo 71).

Further up the current, the lower left slope is covered by geysierite formations, thermophilic algae, pulsating springs and tiny geysers. One can get better acquainted with local thermal manifestations while walking along the familiar path to the observation plateau at a low terrace in the scroll. From here, the picture opens uniquely beautiful, even for the Valley of Geysers, scenery of the activity of pulsating springs and geysers so different in character and power. Recently this surprising and popular site of a slope has received the name – *Vitrazh* (*Stained-glass window*) (photo 72). To the right, one can see just mentioned and constantly spouting springs Malakhitovyi Grot and Mnogostruynyi. Above their left coast, begins low breakage of the low terrace up to 30 m wide, swamped and covered by bright-green grass. Behind the terrace, there rises a steep precipice-wall, over whose surface columnar geysierite burls are distinguished tracing from numerous holes. Boiling water runs from those holes over the wall forming small hot streamlets that seem multi-colored due to the surrounding motley thermophilic algae. On the background white steam curls here and there, changing the general picture as a kaleidoscope. All in movement. Suddenly there appear almost vertical fountains of hot water and steam – in that manner *geysers Fontan* (*Fountain*) and *Novyi Fontan* (*New Fountain*) start their eruptions. They are located in a leveled area sized 10 x 20 m called the *Ploshchadka Fontanov* (*Fountain Area*).

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 гейзе-



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

**70. Unusual shape and colors of the construction of pulsating spring Malakhitovyi Grot constantly attract attention of visitors of the Valley of Geysers**

ритовые 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 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*.

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 правее Площадки фонтанов в стенке

Almost all geysers and springs of the slope have not remained concealed to T. I. Ustinova and were first reported by her: Grot, Fontan, Novyi Fontan, Nepostoyannyi, Dvoinoi,



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

**71. Splitting steam-water mixture all around, pulsating spring *Mnogostruyniy* operates not far from Malakhitovyi Grot**



72. Площадка фонтанов, справа парит гейзер Грот  
72. Ploshchadka Fontanov, Grot geyser, steaming – to the right

Malakhitovyi Grot. From the observation plateau, to the right, we can first see pulsating springs Malakhitovyi Grot and Mnogostruinyi. Above them, further to the right of the Fountain Area, in the wall of an abrupt slope, a group of small geysers and springs can be observed, among which we distinguish one named *Bastion* (photo 73). Its geyserite construction presents a ledge of bedrocks in the form of a wall 3 m high,



73. Небольшой гейзер Бастион  
73. Smal geyser Bastion

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 служитместилищем *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, стекающего 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 прекращения 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 сериями 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 Фонтана и Нового Фонтана. 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 Нового Фонтана.



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

74. Powerful steam-water jet rushing out of a shallow cave facing the Ploshchadka Fontanov. This is a rarely observed eruption of the Grot geyser

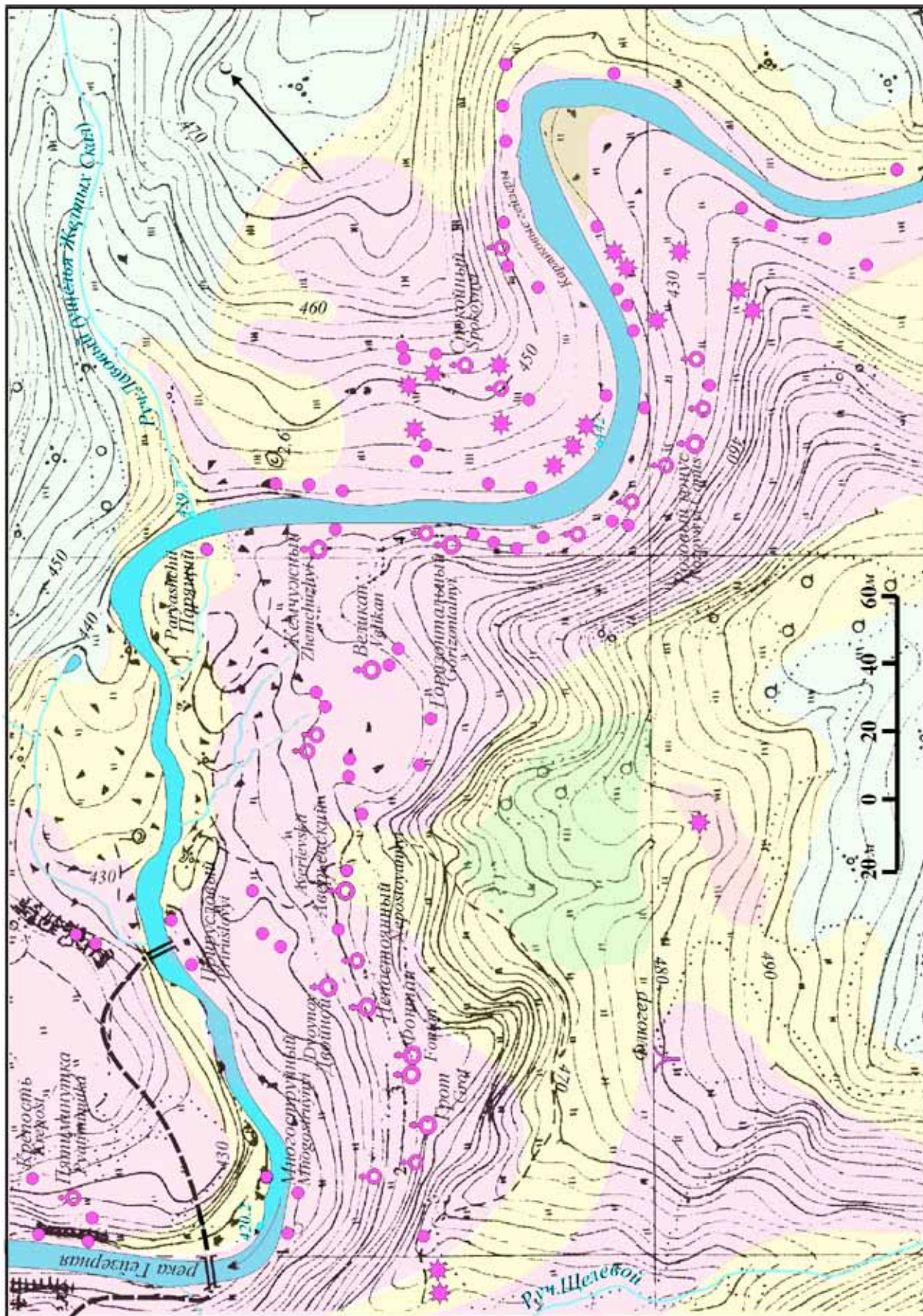


75. Гейзер Грот в покое. Перед входом в пещеру гейзера обширная ванна, через которую идет слив кипящей воды

75. Grot geyser in the quiescence. In front of the entrance to the grave there is a large bath through which there occurs the outflow of boiling water

with clogged upper edge. Boiling water is by impulses ejected from the fissure at the top of the leaning cone and in the geyser regime from the vent at its bottom.

To the left, higher than the Bastion, constantly puffing steam comes out of a shallow cave, whose entrance is facing the Fountain Plateau. It hosts the *Grot (Grotto)* geyser and a number of small pulsating springs. Boiling water is splashing deep in that niche. It is accumulated in front of the niche



- 1 2
- 3 4
- 5 6
- 7 8

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 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. Кро-



76. Извержение гейзера Фонтан

76. Eruption of the Fontan geyser

in a flat pool separated from the slope by short sides. Water supply to the pool increases occasionally, probably according to the geyser operation mode; the flow rate of a stream running over the slope changes as well, by which we can judge about the state of the Grot geyser whose activity is hidden from observations by the sides of the cave. Regime of this geyser was determined by automatic recording of the water level in the stream, that is the appearance, variation and seizure of water flow. Periodicity of the geyser varied from 31 to 48 min (photo 74, 75).

In spite of usually hidden geyser activity, powerful horizontal ejections of steam-water mixture from the Grot geyser

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

Fig. 6. Location of geysers, thermal springs and other thermal manifestations in the Centralni Site (VII)

- 1 – geyser;
- 2 – boiling or hot spring;
- 3 – mud pot; individual steam jet; grounds with temperature at a depth of 1 m:
- 5 – 70–100 °C,
- 6 – 20–70 °C,
- 7 – less than 20 °C;
- 8 – plank layered pathway

were recorded in 1987, 1990 and 1991. The spouting occurred by a series of mixture ejections. Before the spouting, usual geyser regime of water outflow from the pool was observed. Then came the sudden increase of the flow rate, and emission of a horizontal jet of water and steam, with force beating in an opposite slope from the Grotto, aside geysers the Fountain and the New Fountain. The eruption was accompanied by loud roar and release of dense steam puffs rising up to hundreds of meters. Immediately after the eruption, hot water was running down to the river almost over the whole geyserite wall. Spouting of the geyser was observed 7–9 times for 2–3 min, with pauses of 2–3 min either, and every following eruption was a bit weaker than the previous one. Estimated discharge rate of the geyser, calculated by the rise of the river level, was 160 l/s. The approximate volume of the chamber after its emptying made 30 m<sup>3</sup>. By these parameters, the Grot geyser takes the first place in the Valley of Geysers.

At the same ground, about 18 m away from the Grot, the geyser *Novyi Fontan* is located. Water and steam are released from three neighbouring vents in the form of vertical streams 1–3 m high. Geyser activity is characterized by irregularity of the regime and much more prolonged period of spouting in comparison to the period of quietness. For instance, within one of



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

*77. Modest spouting of the Nepostoyannyi geyser (in the center) can be seen amidst the polychromy of the geyserite field of the Ploshchadka Fontanov*



*78. Гейзер Двойной*

*78. Dvoynoi geyser*

ме 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 деятельности может соперничать с ним. Находится Великан на плоской площадке размером 35 x 40 м, небольшими уступами спускающейся



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

79. Upper part of the Dvoynoi geyser construction with a slot named the Saddle

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. Фонтанирование 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

the geyser cycles, the ejection was continuing for 39 min, while the pause took only 9 min.

Two meters away from the Novyi Fontan, one of the prettiest and rhythmically operating geysers, named *Fontan*, is located (photo 76). During its eruption, a column of boiling water rises vertically to the height of more than 10 m from the channel vent 60 cm in diameter. Its cycle periodicity is quite stable and varies from 13 to 24 min. The eruption itself takes 3–4 min, while the duration of certain stages varies depending upon the supply of cooled ejected waters mostly coming from the neighbouring Novyi Fontan geyser.

*Geyser Nepostoyanniy (Unsteady)* (photo 77) operates a bit lower than Fontan. In the moment of eruption, boiling water is splashed out to the height of up to 3 m from the holes in the irregularly shaped geysere construction. The geyser got its name due to character its regime. Duration of its cycle changes from a few minutes to an hour and even more. Further down and left from Nepostoyanniy, a vivid prominence is distinguished in the slope, of quite an outstanding form resembling a big saddle and named the *Dvoynoi (Double) geyser* by T. I. Ustinova. Its surface is covered by dark-grey geysere. The prominence has two slots one of which is located at its top. Boiling water splashes alternately from those slots (photo 78, 79). The geyser regime



80. Гейзер Аверьевский

80. Averiyskii Geyser



*81. Мощная пароводяная струя гейзера Великана*

*81. Powerful steam-water jet of the Velikan geysers*

is also quite unstable. The eruption takes just a few seconds, the largest streams reaching 0.5–1 m in height and periodicity varying from 4 to 23 min.

Finally, 25 m left of the Dvoinoi geysers, approximately at the level of the Fountain Area, *geyser Averievskii* is located (photo 80) whose vent 0.5 m in diameter is confined to a large pot-hole in the slope. The geysers were named after a famous volcanologist and hydrogeologist Valerii Victorovich Averiev. Long-term observations have revealed significant changes in the nature of the geysers activity. First, it operated in the manner of a constantly active small boiling spring. Later on, it was functioning as a geysers, with average periodicity of 13–14 min ranging within the limits of 12–31 min, with a powerful steam-water fountain rising up to 10–15 m in the moment of eruption. Recently, its geysers regime has changed into the mode of a pulsating boiling spring. Its discharge rate is so great (up to 10 l/s) that the water flow forms a separate hot stream running down the slope and entering the Geysernaya river from the left.

Averievskii pulsating spring (geysers) as if closes the group of thermal manifestations of the «Vitrazh». Beside the described large geysers and springs, the geysers slope hosts lots of small pulsating springs and tiny geysers much like the above mentioned walls of tiny geysers. Below, at the surface of the terrace, one can also observe some springs whose



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

*82. The bath of the Velikan geysers is filled with new portions of hot water, initiation of boiling and water outflow*

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 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 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 измеряется часами, а само извержение практически не отличается от интенсивного кипения с разбрызгиванием на один метр в разные стороны струй воды,



83. Гейзер Великан. Начало извержения

83. *Velikan geysir. The beginning of eruption*

water comes out of small vents and boiling pools and secretly flows to the Geysernaya river hidden by a cover of swamped ground.

80 m up the current away from Averievskii, the main geysir of the Valley is located – *Velikan*. Its majestic eruption is better observed from the observation ground settled above the slope to the second bridge across the Geysernaya river, higher than the previous observation site. *Velikan* is distinguished among the others for the most powerful and beautiful eruption (photo 81). At present, only the Grot geysir, after the new stage of its activity, can compete with it. *Velikan* is placed at a flat ground sized 35 x 40 m also hosting a number of pulsating boiling springs and two small geysers with short operation cycles. The vent of the *Velikan*'s channel presents a bath sized 1.5 x 3 m and 3 m deep (photo 82).

The eruption starts with a rapid and noisy ejection of a steam-water mixture column all over the bath section (photo 83). The fountain is about 20 m high, steam puffs rising up to 300 m and higher. The eruption lasts about 2 min. The whole water mass dashes onto the ground and rushes down the slope to the river (photo 84), some portion of it immediately getting into the emptied crater. Spouting is followed by intensive steaming lasting for about 30 min, period of impoundment taking 2.5–3 h. The stage of boiling preceding the eruption varies in its duration depending mainly on atmospheric



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

84. *Velikan's eruption is seizing and a rapid hot water flow rushes to the river*



85. Общий вид площадки гейзера Жемчужного в момент его извержения  
85. General view of the Zhemchuzhnyi geysers area in the moment of its spouting

conditions, and may take 2 h and more. Boiling occurs with alternate rhythm of increasing intensity and fading. In the maximal stage of boiling splashes of boiling water reach the height of 1–1,5 and are often considered by observers to be the beginning of eruption. Then occurs fading of active boiling, ripples appear on the bath surface and water level slightly lowers. There may be several (usually 5–8) such recurrences of appearances of boiling griffons with 30 min intervals before the eruption itself, until the last of them turns into vigorous spouting.

For the last years, average cycle of Velikan makes 5–6 h, and, consequently, has undergone certain changes towards the increasing periodicity, because in the 40-th average duration of its operation was 3 h. Geyser chamber volume measured immediately after the eruption was 20 m<sup>3</sup>. Accordingly, discharge rate during the spouting makes about 160 l/s given the whole volume of water discharged for 24 h (during the outburst and outflow), Velikan's debit is not great and makes only 2 l/s.

From the last observation area, further up the river current, geyser *Paryashchii* is distinguished by dense white steam puffs rising during its intensive activity. The geyser is located in front of the mouth of the Lavovyi brook, about 120 m away from the bridge and 55 m away from Velikan. Its channel vent presents an unshaped funnel among the mass of stones above a small precipice rising from the river-bed. For the period of observations (systematically conducted since 1970), once active pulsating spring with the debit of 1.5–1.9 l/s, from 1972 started to outflow with intervals, and from 1974 began operating in geyser regime with periodicity of 30 h and more. Its spouting period also takes hours, and the eruption itself is almost undistinguishable from intensive boiling with splashing of water all around to the height of 1 m, which could be observed during its operation as a spring. Plentiful

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

Выше Жемчужного на этом же левом бе-



86. Фонтан гейзера Жемчужного взматывается на высоту более 10 м  
86. Fountain of the Zhemchuzhnyi geysers shoots up to the height of more than 10 m

регу 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 разлива, 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



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

87. Nizhnii Shchelevoi geyser (Flat Cone) and its notable geysirite construction

steaming accompanying the geyser operation prompted us to give it such a name: Paryachshii (Steaming).

35 m up the river from Paryashchii, *geyser Zhemchuzhnyi (Pearl)* is settled on the left bank, about 6 m from the river brink. Its channel vent is camouflaged by rock debris, consolidated and covered by geysirite. Its beautiful ornament is composed by small balls of leaking silica, resembling grey pearls, which suggested the name of the geyser given it by T. I. Ustinova. Eruption of Zhemchuzhnyi starts all of a sudden, when a magnificent and at first noiseless fountain of boiling water shoots up to 10 m, spilling large drops all over the slope (photo 85, 86). The eruption lasts for 4 min, followed by 7–8 min of steam puffs occurrence. On the average, for the whole period of observations, complete cycle of this geyser makes 4 h.

Further up the same bank, a geysirite cone 1 m high rises just above the river (photo 87). It is the *Nizhnii Shchelevoi (Low Crack's) geyser*. The cone seems to be leaning against the abrupt slope and looks flat, which prompted its *second name* – Ploskii Konus (Flat cone). During the eruption, boiling water is by impulses ejected from a small slot at the top of the cone. The fountain reaches 30 cm in height. The eruption lasts for about 3 min, the whole cycle missing the out-flow stage takes about 27 min.

Another known geyser of this site is *geyser Gorizontalnyi (Horizontal)* located on the left bank 35 m away from Zhemchuzhnyi. Small



88. Извержение гейзера Горизонтального

88. Eruption of the Gorizontalnyi geyser

geysers and pulsating springs are grouped around it occupying the lower part of the abrupt slope of the river valley. T. I. Ustinova once called this place the «*Slope of Tiny Geysers*». The area does not host any large springs or geysers beside Gorizontalnyi. Its irregularly shaped geyserite construction is leaning against the slope and is partially covered by geyserite crusts of grey color with pinky shade. Upper part of the construction, 1.5 m high, is half-collapsed, with a geyser vent in the form of a funnel sized 0.5 x 0.4 m (photo 88). Gorizontalnyi is one of the most stable-mode geysers. For the whole observation



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

89. Shield of siliceous sinters on the left side of the Geysernaya river; geyser Gorizontalnyy steaming in the foreground

period (since 1951), its operation stages practically have not changed. Complete cycle of the geyser operation ranges from 90 to 100 min, the eruption taking 2 min. The filling of the basin occurs for 70 min, water outflow and boiling taking 30 min. During the eruption, the geyser ejects a powerful stream of steam-water mixture (photo 89), shooting at an angle of 45° to the river to the distance of 10 m.

Three other tiny geysers hide among pulsating springs and seepages of hot waters at the slope of tiny geysers. The uppermost of them is characterized by periodicity of 6 min and debit of 1.5 l/s; the other two have unclear operation cycles. 20 m away from Gorizontalnyi, the boiling pulsating spring allocated by a structure of an exhaust outlet, oven is located, sized 10 x 20 cm. It is settled in a small break of the bank, 1.5 m above the river brink. Rhythmical pushes splash boiling water out of the vent almost horizontally towards the water flow. *The spring* got its own name of *Moidodyr*.

наиболее стабильных по режиму работы гейзеров. За весь наблюдаемый период (с 1951 г.) стадии его деятельности практически не изменились. 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 одного метра. 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, 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 располагаются 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 источ-

Behind the river bend, further up from the «Slope of Tiny Geysers», a high geyserite cone is clearly distinguished in the steep slope of the left Geysernaya bank, a fountain of steam-water mixture periodically emerging at its top, characterizing the operation of the *Rozovyi Konus (Pink Cone)* geyser. Geyserite cone reaches 8 m in height, given the basement width of 2 m the channel vent is settled close to the top, presenting a slot-like cavity sized 8 x 30 cm. Grey geyserite has pinky shade and «pea-stains» of different sizes. The eruption occurs in the manner of a suddenly emerging fountain of hot water 1 m high. Geyser cycle has been stable for the whole observation period; it takes 14–15 min, the eruption lasting for 35 s. 2 vents can be seen in the lower part of the geyserite cone, which are the upper parts of two geysers' channels. The uppermost of them has the cycle of 36 min, spouting taking less than 1 min, during which steam-water stream shoots up for 1 m at an angle to the slope. Eruption of the lower geyser lasts about 16 min.

A few meters away from the basement of the Pink Cone geyserite construction, we distinguish two smaller geysers: *Nora (Hole)* and *Travyanoi (Grassy)*, with the duration of cycles being 9 and 1 min, respectively. Having no geyserite constructions, they are not pronounced in the relief. Their channels' vents are lost in lush green grass on the slope. Nora geyser is recognized in the stage of quietness by a spot of light silicified rock and a funnel in its center, 15 cm in diameter.

On the right bank of the river, opposite to the above described thermal manifestations, intensive hydrothermal activity manifests itself in the form of small pulsating springs, boiling water pots and geysers, over twenty in number. Here, the surface of a vast thermal ground (60 x 50 m) gradually ascending from the river to the height of 10–15 m, almost completely lacks any vegetation and looks like a shed shell of some fantastic creature. Hot and warm streamlets run over the surface collecting waters from numerous tiny pulsating boiling springs, pots and geysers. Multicolored by enveloping thermophilic algae, the streamlets, like some threads of a queer ornament, stretch from the upper part of the ground down to the river. Just by the river, edges of the shell are shaped as conic slaps, resembling the offset cones of dry rivers and temporal waterways (photo 89).

One of the mentioned hot streamlets originates from the hot water discharge presenting a pulsating spring located in a small basin filled with stones. On their way down, its waters come across two other springs. The upper one is settled in a funnel-like cavity. Boiling water is splashed into a streamlet running through the lower spring located 7 m away from the first one and presenting a water pot about 1 m in diameter and 1.5 m deep with hardly notable water flow. Activity of the spring is noted by steam bubbles formed on the water surface. Total debit of the three springs is 1–1.5 l/s. *Geyser Spokoinyi (Quiet)*, one of three geysers found in this area, is located beside the first pulsating spring. Its vent is placed at the bottom of a small funnel whose sides are composed of red clay, that is why thin «brushes» of geyserite are also colored red. Geyser cycle takes about 2 min, spouting lasting for 30 s.

Another steep wall, 12 m high, with a number of minor pulsating springs and tiny geysers is found further up the

river course, on its right bank. Discharge vents of springs and geysers are located 4–8 m up from the river brink. They are clearly distinguished among the grass and clay soil by the trails of running water – multicolored, mainly greenish and yellow-brown stripes of siliceous and geyselite leakages, enveloped by thermophilic algae. For instance, remarkable is the uppermost discharge of boiling water in the form of two pulsating springs settled 4 m away from each other. Boiling water is ejected by streamlets up to 10–20 cm.

5 m below, 2 tiny geysers are located. One of them – *Korichnevyyi (Brown)* (named by the color of its geyselite construction) – operates in a mode typical for all geysers (water outflow, spouting, steaming, quietness). The other one, located 1.5 m away and named *Zmeika (Snake)*, is notable by the appearance and vanishing of the streamlet running in a winding channel among siliceous leakages and evidencing the geyser activity. Its periodicity makes only 4–6 min, the eruption taking 10–20 s. Two more geysers can be found in the lower part of the wall described, 4–5 m up from the river. Their streamlets run onto the floodplain terrace that reaches here the width of 5–6 m the lowest of them, with the cycle of 25–30 min, is spouting for 15 s in the form of small streams of boiling water shooting at the river. The second one is similar to the *Zmeika* geyser. In the moment of outburst (lasting only 30 s), it forms a small streamlet of hot water that immediately vanishes afterwards.

Further up from the above described thermal manifestations, 600 m along both banks of the Geysernaya river till the beginning of Site VIII, small boiling and hot springs are observed close to the river brink, characterized by quiet water outflow. Integrity of surface thermal anomaly (with ground temperature above 70 °C at the depth of 1 m), traced along the Geysernaya river, is broken. Isolated spots of altered rocks and steaming ground with steam vents in the upper parts of the slope and minor springs at the river channel, are found further up the course, mostly at the left bank.

## Site Verkhniy (Uppermost) (VIII)

This site opens with a group (more than ten) of boiling and hot pulsating springs in the near-channel part of the Geysernaya river. They are located approximately 100 m further down from the confluence of the river with the Maluyutka brook, by a steep turn of the river. The largest and most clearly manifested boiling springs occupy a ground sized 25 x 10 m on the left bank of Geysernaya. The uppermost spring is found 1.5 m away from the river in a small pothole and presents a concentrated steam-water stream, shooting almost vertically to the height of 1–2 m. Lower spring named *Bolshoi (Large)* is divided into 4 streams and confined to a fissure in the solid rocks. Total debit of the left bank springs, according to visual determination, makes up to 3 l/s. This group of thermal manifestations is well distinguished from the distance, especially in winter, by steam puffs rising above it (photo 90).

The following (further up the current) group of springs and geysers occupies the left bank and includes geysers

ников, 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 натеках 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 °C), 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 вертикально 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 debit 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, источник Плачущий. Хотя эти гейзеры уступают по масштабу деятельности, красоте и величю гейзеров центральной части Долины, они также 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 возвы-

Burlyashchii, Vosmeorka, Ivanushka, Verkhni, and the Platchushchii spring. Though these geysers can not compete in their beauty and loftiness with geysers of the central part of the Valley, still they are also quite extraordinary and attractive. *Burlyashchii (Seething) geyser* is the first one to be met at this part of the river. It is settled 120 m further up the current from the river confluence with the Malyutka brook, in a niche-like hollow sized 5 x 10 m. V. N. Vinogradov first described it in 1961 as having a cycle about an hour long, the eruption stage taking 10–11 min. Recently, the geyser has often operated in pulsating mode with alternate increasing and decreasing activity.

*Geyser Vosmeorka (Eight-shaped)*, first characterized by T. I. Ustinova, is located on the same side, 350 m away from Burlyashchii. Its construction in the form of a truncated cone 2 m high towers above the river for almost 8 m. Discharge vent at the top of the cone forms a figure of eight. Its eruption occurs by streams rising up to 3 m, and lasts for about 1 min. For the whole period of observations, its complete cycle varied from 27 min to one hour and more, including stages of spouting, steaming, quietness, outflow and

boiling (photo 91). 100 m up the river course, a boiling spring named *Platchushchii (Crying)* is ejecting its waters from a fissure located 5 m above the river brink. From time to time, streams of boiling water turn into inclined fountains of steam-water mixture. The debit of the spring ranges from 0.1 to 1 l/s.

40 m up from the previous spring, the vent of a small *geyser Ivanushka* is located 30 m above the level of the river. Duration of its cycle is unstable. Water outflow and ejection of steam-water mixture take 2 min, followed by a pause in operation for 20–25 s, during which the channel chamber is refilled with water.

The right steep slope of Geysernaya, 10 m up from the upper rapids of the Troinoi waterfall, hosts *geyser Verkhni (Uppermost)*. Steam-water mixture rushes out of the vent at an angle of 50°, located at the extension of almost vertical fissure, clearly traced in the tuffs of the



© Суяробса В. М. / Sugrobov V. M.

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

90. Group of boiling springs and geysers of Sector VII on the left bank of Geysernaya. Among them – the Bolshoi spring



© Сузробов В. М. / Sugrobov V. M.

91. Почти на кромке Трехкаскадного водопада разместился гейзер Верхний

91. Geysers Verkhniy is located almost at the edge of the Trekhkaskadnyy waterfall

river-bed. In 1961, V. N. Vinogradov first described it with the complete operation period of 16 min, pulsating spouting taking 8 min. Our occasional observations (in 1984–1994) showed that boiling water was flowing out almost uninterrupted, with minor pulsations and debit of 2–3 l/s. Water outflow is accompanied by intensive steaming without any visible spouting of steam-water mixture (photo 90). Below it, down the slope, periodical outpouring of steam-water mixture can be noticed from a fissure, forming a sort of mini-geyser often sunk by the river when its level rises. 10 m up the current, we distinguish three more discharges of steam-water mixture in a fissure stretching perpendicular to the river-bed. Two of them form the channel vent of a geyser we named *Verkhniy V Rusle (Uppermost in the Channel)*. Steam-water mixture is ejected with irregular periodicity and debit. Its operation mode is apparently conditioned by the volumes of cold river waters injected into the geyser channel. Further up from these geysers in the Geysernaya valley, deep thermal chloride-sodium waters discharge only in the form of springs. The last and the uppermost of them was found 200 m from the Verkhniy geyser on the left bank. It is a boiling ascending spring with debit of 0.2 l/s. Actually, the *spring (Verkhniy Chloridnyi, Uppermost Chloride)* marks the upper margin of Site VIII. We could say that from here, the Valley of Geysers becomes merely the basin of the Geysernaya river.

шается 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 заметного фонтанирования пароводяной смеси (фото 90). Ниже его по склону в прирусловой 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)

## Site Verkhne-Geysernye (Upper-Geyser) Springs (IX)

Расположено 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 °C), 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 °C 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 x 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. Теплового и Горячего, в основном – к их верховьям. Ручей Теплый начинается с выхода на поверхность воды с температурой 26–31 °C 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 Теплового. Местами ручейки разливаются, образуя теплые крошечные озера среди крупных глыб лавы. В среднем течении руч. Теплового на правом берегу находится мощная паровая струя (фото 92). Расход ручья в устье достигает 180 л/с при средней температуре 25,5 °C.

Ручей Горячий также своим истокам обязан теплым источникам. До 1986 г. ручей действительно был горячим благодаря выходу в его верховье мощной парогазовой струи, расположенной в воронке, по форме

This area stretches almost exclusively over the left slope of the Geysernaya river valley, 5 km up from its mouth. This thermal field owes its origin to surface steam discharges. Its peculiarity is absence of ascending boiling springs and geysers that might evidence the discharge of chloride-sodium waters. Major thermal manifestations here are powerful streams of saturated steam, boiling internal-drainage water or mud pots whose waters present condensate mixed with waters of surface drainage. The only discharge of overheated steam (temperature of 110 °C) accompanied by gas emissions is observed in the uppermost part of the field. Typical is also discharge of warm and hot waters in the form of descending springs, whose origination is evidently associated with condensation of steam.

Upper-Geysernoye is the second in size thermal field. It is extended in isolated spots along the Geysernaya basin for almost 1 800 m, with the width up to 300 m. Total area of the ground heated to the temperature of 20 °C at a depth of 1 m here makes 0.34 km<sup>2</sup>, that of some spots being up to 0.1 km<sup>2</sup>. The field begins 350 m up the river course from the boiling spring Verkhne-Chloridnyi and is marked by the appearance of a thermal ground (600 x 250 m) at the left bank, more than 100 m above the river. Visually, it is recognized by whitish and yellow spots of altered rocks and individual steam jets. Further up the river, the thermal field comes down almost to the water edge and stretches along the left bank for 600 m, the width being 100–200 m. Within the first part of the thermal field, the most remarkable thermal manifestations are confined to the basins of Teplyi (Warm) and Goryachii (Hot) brook, mainly to their headwaters. Teplyi brook originates from the surface discharge of water with temperature of 26–31 °C in the form of descending springs traced for almost 100 m along the brook. The uppermost water vent is located a bit lower than the foot of the precipices composed of black andesitic-dacitic and dacitic lavas. The springs give rise to small streamlets (with flow rate of about 20 l/s), constituting left and right branches of the Teplyi brook. Here and there, the streamlets flood forming tiny warm lakes among large blocks of lava. In the middle course of the Teplyi brook, on its right side, there is a powerful steam jet (photo 92). Flow rate of the brook in its mouth reaches 180 l/s, given average temperature of 25.5 °C.

Goryachii brook also owes its origin to warm springs. Till 1986, the brook was really hot due to the discharge at its headwaters of a powerful steam-gas jet located in a funnel shaped lentil-like with the longer axis of 7 m, and the shorter one of 3 m. The basin was filled with water from a warm streamlet running into it, hot water of surface drainage and steam condensate. Water was heated to 70 °C. Bubbling gryphons formed by steam and gas bursting through the water could be seen on its surface, thus prompting the spring's name *Burl-yashchii Kotel* (*Seething Pot*). In cold weather, steam column



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

92. Steam vents and hydrothermally altered rocks of the Upper-Geyser field

rising up to 200–300 m could be observed even from the central part of the Valley of Geysers. Most probably, this very column steam saw in due time V. L. Komarov and B. I. Piip when crossing the northern foot of the Kikhpinych volcano. The hot stream was actually presented by water leaking from the basin by the underground way, through a narrow (about 20 m) feedthrough. Water in the basin and in the brook below it acquired peculiar whitish color, turbidity and smell of hydrogen sulfide caused by dissolution of hydrogen sulfide component when condensing. Total debit of the brook made 193 l/s, water temperature in the near-mouth part being 40–45 °C. In 1986, Burlyashchii Kotel collapsed, Goryachii brook turned into a small warm streamlet, while the surface of the thermal field was littered with crumbling sediments, mainly by the debris of lava rocks of the upper part of the slope (photo 93). Change of hydrothermal activity and collapse were probably the consequence of a strong earthquake that had taken place shortly before it.

Up the river current from the Goryachii brook, the thermal field approaches the river-bed occupying terraced surface of the left bank. Most part of the field is located at the highest level with respect to the river. Its width is 30–40 m, and it stretches along the river for 150 m. Small lake, whose water is boiling due to numerous steam-water streams, forms peculiar center of the field. By the end of summer, it boils away leaving a ground of dispersed steam discharges. Beside the lake, there is a small hill of hydrothermally altered clay with crusts of sulfur and spots of steaming ground, the so-called «sulfur mound». Besides, boiling mud pots and single steam outlets are found within small scours. Water formed in the

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 °C. 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 подножье вулкана Кихпинич. 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 приобретала характерный белесый цвет, мутность и запах сероводорода, связанный с растворением при конденсации кислой сероводородной компоненты. Общй расход ручья составлял 193 л/с, температура воды в приустьевой части – 40–45 °C. 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.

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. Теплового: 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.



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

94. Discharge of overheated steam (temperature 110 °С) at the Upper-Geyser field – Fumarole



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

93. Heads of the Goryachii brook – Burl'yashchii pot after 1986

result of steam condensation in pots and streams is typically acidic and has sulfate-calcium-sodium composition with salinity of 0.7–1.5 g/l. From here, thermal grounds over both sides in the headwaters of the Podjom brook are clearly seen, remarkable for their brisk yellow color and two powerful steam vents.

At the right bank of the Geysernaya river, there exists only one area of hydrothermal activity, 250 m up from the mouth of the Teplyi brook: that is the ledge-block (just by the river-bed) of brightly colored hydrothermally altered rocks with patches of steaming ground. Geysernaya bends round this ledge, steeply turning left. Finally, on the left bank of the Geysernaya river, 300 m away from the mentioned ledge, in the channel of a hardly visible streamlet 100 m away from its mouth, a remarkable concentrated discharge of overheated steam is located. Because of its high temperature (110 °С), we called it the *Fumarole*. Fumarole and surrounding boiling pots with temperature of 95–98 °С, as well as small sulfur mounds, are located within the funnel-like depression of the streamlet headwaters whose walls are composed of yellow hydrothermally altered clays (photo 94). Further up the river course (till the Krovavyi brook), only isolated hardly distinguishable thermal grounds can be found.

All the other thermal manifestations are briefly characterized in previous chapters of the present manual.

## *Sediments of thermal waters – geyserites and thermophilic algae*

*There is no Heaven on Earth.  
Unless its small pieces  
dissipated all over the World*  
Joule Renar

### GEYSERITES

Those lucky ones who managed to visit the Valley of Geysers in Kamchatka and see, for example, spouting of the Velikan geyser, will certainly never forget their impressions. Amazing combination of two feelings – delight and fear are simultaneously experienced by people when watching this violence of nature.

Geysers! Unique natural boiling fountains. However, it is not fresh water that boils within them, but solutions containing up to a few gram per liter of various salines, among them, sometimes, up to half-gram of silica. Silica may be present in waters in four states: 1) dissolved – ionic and molecular; 2) aggregative – colloid, ashy and gel-like that can transform into dissolved one; 3) dredge of particles with adsorbed on their surfaces silicates and the same silicon aggregates; 4) silica-organic compounds. Silica is present in geyser waters mainly in dissolved and, to a lesser extent, colloid form. As it is known, solubility of most salines decreases with decreasing temperature. When boiling solution is poured out from the depth of a geyser channel onto the ground surface, there occurs abrupt decrease of temperature and pressure, as well as intensive steam formation, and consequently, loss of dissolved carbon dioxide and certain decrease of solution alkalinity. Besides, about 10 % of distillate is removed together with steam, thus making remaining solution more mineralized. So, cooled geyser water becomes oversaturated with respect to silica, and the latter precipitates in the form of peculiar scales of silica oxides named geyserite.

Geyserite is colloid, amorphous (that is not yet crystallized) substance consisting of silica and water molecules. Siliceous sediments are naturally deposited from two water types – subalkaline and alkaline overheated waters of chloride-sodium composition and acidic waters enriched in silica acid. In the areas of modern volcanism, practically all geyserites are deposited from subalkaline thermal waters, that is, with geyser outflow regime. Geyserite constructions of various configurations are usually formed around channels of frequently spouting geysers. They are often presented by

## *Отложения термальных вод – гейзериты и термофильные водоросли*

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

### ГЕЙЗЕРИТЫ

Те счастливицы, 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 щелочности 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 раскристаллизованное 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 микропчовидные структуры (фото 98). В случае гладкой поверхности стока, по которой сбегает гейзерные воды, 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 перекрывающих друг друга тонких слоев, чешуи кремнезёма. Вдали от грифона эти чешуйки приобретают



95. Гейзеритовый плащ гейзера Тройного

95. Geyserate shield of the Troinoi geyser

coverings or shield-like surfaces coating the slopes (photo 95) and forming queer towers, pedestals, columns and cones around geyser channels (photo 96, 97). Sometimes they stick to the slope like «swallow's nests».



96. Гейзеритовый конус гейзера Сахарного

96. Geyserate cone of the Sakharnyi geyser

Of great interest are morphological differences of geysers. Since silica is precipitated in the colloid state, its films typically form spherical micro-nodular structures (photo 98). In case of flat surface of geyser water drain, geysers will also be flat. Wavy geysers are formed if the drain surface is a bit inclined. On steep slopes, close to the gryphon, scaly geysers are formed whose masses consist of overlapping thin layers, scales of silica. Away from the gryphon, those scales obtain the form of thin-laminated formations (laminar differences). In the zones of steam-formation, botryoidal geysers are usually formed at the external walls of geyser gryphons, small-nodular geysers with velvety surface coating the internal walls. Of special interest are coral-like types of geysers resembling colonies of sea-corals. Their «branches» and knurls are formed at flat surfaces, at some distance from the vent of the geyser gryphon, within the area of spilling of water ejected during the eruption. Occasionally, given the absence of macro-admixtures or any local colorants, pearl-like geysers grows under the same conditions. Its spherical pea-like micro-nodular aggregates of white color with pearly glare make geysers shield amazingly beautiful. In case of junction of several big



97. *Гейзерит гейзера Соседа*

97. *Geyserite of the Sosed geyser*

spherules, peculiar «roses» are formed, balls with surfaces resembling cauliflower, and so on (photo 99). Pigment substances (thin dredge of clay minerals, hydroxides of iron and aluminium, copper oxides and other compounds) dye geyserites in different colors (photo 100, 101). Water splashes form geyserite with honeycomb, noose-like surface morphology around minor vents – so-called «tiny geysers» that are, in fact, small pulsating springs.

It has been noted that in the zones of geyserite construction with temperature below 55 °C, blue-green algae develop. If water splashes get onto wind-brought stems, plant leaves or pieces of moss, the latter are fossilized and, being consolidated by the same silica, take part in the formation of geyserite construction. Geyserite age can be determined by such fragments of buried organics. So, in the basement of the Troinoi geyser edifice, we found a fragment of fossilized branch of cedar with still preserved organic filaments. Radiocarbon dating method revealed that the construction was about 800 years of age. Thickness of lamellar geyserite reached 30 cm in that site. It appears, that formation of 1 mm of geyserite layer takes 2.5 years. Consequently, crystallization processes should have inevitably taken place within the geyserite construction for such a long period of its existence. Really, in the mass of silica, quite inhomogeneous in its structure, texture and chemical composition, assemblages

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 гроздьевидного 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 мелкопочковидные 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 сотовой, петельчатой морфологией поверхности.

Подмечено, что в зонах гейзеритовых построек с температурой менее 55 °C развиваются колонии синезелёных водорослей. Если брызги воды попадают на занесённые на постройку ветром стебли, листочки растений, кусочки мха, то последние fossilизируются, и, цементируясь тем же кремнезёмом, участвуют в формировании постройки гейзерита. Благодаря таким кусочкам захороненной органики удаётся определить возраст гейзерита. Так,



98. *Сферические мелкопочковидные разности гейзерита. Гейзер Тройной*

98. *Spherical micro-nodular differences of geyserite. Troinoi geyser*



99. Гейзеритовый наплыв в виде цветной капусты

99. Geyserite burl in the form of «cauliflower»

в основании гейзеритовой постройки гейзера Тройного нами был обнаружен обломок фоссилизированной ветки кедрового стланика с ещё сохранившимися органическими волокнами. Радиоуглеродный метод датировки позволил определить 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 раскristаллизации. 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 цвета, сильно обогащённый водой. Рентгенографический анализ не выявляет в этом веществе никакой упорядоченности структуры. Элементы упорядоченности, связанные с присутствием минерала α-кristобалита, 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); кашчолонг (непрозрачный фарфоровидный); фиорит (перламутровая или жемчужная накипь); гидрофан (белый или светло-голубой, который при поглощении воды становится прозрачным).

В кислых водах образуется благородный опал (джерозоль), имеющий голубоватый, голубовато-



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

100. Streamlet whose channel is laid out with siliceous sediments and geyserite, red-colored by iron hydroxides



101. Красный гейзерит (с примесью гидроокислов железа)

101. Red geyserite (with admixture of iron hydroxides)

of various minerals' crystals appear in the course of time.

By now, within geyserites of the Valley of Geysers, 13 kinds of minerals and amorphous formations have been discovered. Among them, first of all, silica-gel – amorphous silica of white or grey color, abundantly enriched in water. Radiographic analysis does not determine any ordered structure in this substance. Elements of orderliness associated with the presence of α-cristobalite occur in opal. The following kinds of opal are found in the Valley of Geysers: lactic opal (white, grey, light-violet, pink); hyalite (vitreous, colorless, transient in thin chips); cacholong (opaque porcelain-like opal); fiорite

(nacreous or pearly scale); hydrophane (white or light-blue opal turning transient when absorbing water).

In acidic waters, there forms noble opal of bluish or bluish-white color, with slight opalescence, shining with red reflexes under bright light. So-called «opal flour» is often observed in the areas of manifestation of both alkaline and acidic waters. That is powdered opal of various color shades, depending on which it is called vierzolite, proceuvreite, milovite. Tiniest crystals of short-prismatic quartz, blades of  $\alpha$ -tridymite and aciculae of  $\alpha$ -cristobalite are often found within the hollows of massif geysers.

### THERMOPHILIC ALGAE

When you glance, for instance, at the slope in the Valley of Geysers bearing a beautiful name of Vitrazh, the first strike to your eyes are multicolored stripes of water streamlets running from numerous large and small geysers and pulsating hot springs (photo 102). Thermophilic microorganisms and algae play a great role in this polychromy. Blue-green algae are the most widely-spread in the Valley of Geysers. Their rich films of various thickness cover the bottoms of almost all water flows with moderate temperature and purple the banks of brooks with temperature below 65 °C. Blue-green algae occur in the form of long threads, their assemblages attached to stones and curling within the water flow (photo 102, 103).



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

102. Multicolored stripes in the streams, formed by thermophilic algae and geyserite at the Vitrazh slope. Above, to the left – Novyi Fontan geyser

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, просевуреитом, 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 Витразж, – 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 °C. 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 °C 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);



103. Длинные нити термофильных водорослей, прихотливо струящихся в водотоке

103. Long threads of thermophilic algae intricately streaming within the water flow

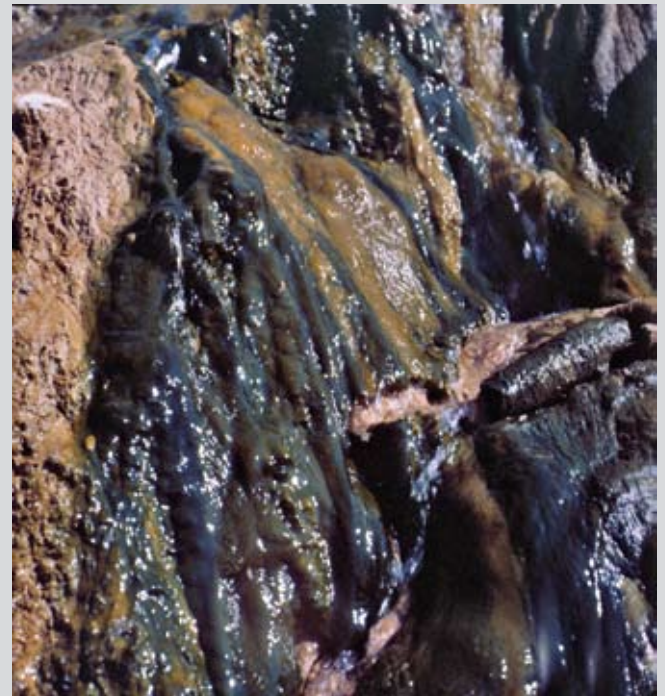
*Synechococcus lividus*; *S. elongatus*; *Phormidium laminosum*; *Oscillatoria terebriformis*. Нитчатые, ячеистые и ветвистые плёнки, иногда студенистые массы тёмно-зелёного цвета, водоросли *Phormidium laminosum* обнаруживаются во многих нейтральных и щелочных источниках в интервале температур 40–65 и даже 78 °C. Особенно обильно они развиваются при 40–50 °C, иногда полностью покрывая поверхность водоёма толстой кожистой плёнкой (матом). При температуре более 50 °C 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 визуаль-

Blue-green algae are the most ancient organisms of the Earth. They inhabited water pools even in the Precambrian age, that is, almost a billion years ago. More than 100 kinds of blue-green algae living in hot springs are known to the science nowadays. Thermophilic (or heat-loving) are conventionally called algae whose development optimum varies within the temperature range of 45 °C and more. It has been noted that thermophilic algae are better developed in springs with increased content of dissolved mineral substances, containing Na, K, Ca, Cl, etc., and being of prime importance for the existence of the organisms. Besides, contents of such elements as F, Br, Mn, Mg, Si, Fe, Cu and other metals are usually higher in hot springs, in comparison to freshwater ones.

Such kinds as *Mastigocladys laminosus* with its numerous morphological forms (films, threads, sponges), *Synechococcus lividus*, *S. elongatus*, *Phormidium laminosum*, *Oscillatoria terebriformis* are predominantly developed in the therms of the Valley of Geysers. Filiform, cellular and ramified films, as well as sometimes jelly-like masses of dark-green algae of *Phormidium laminosum*, occur in many neutral and alkaline springs within the temperature range of 40–65 °C, and even at 78 °C. Especially abundantly it grows at 40–50 °C, sometimes completely covering the surface of a pool by thick coriaceous film (mat). At temperatures above 50 °C, it forms short filaments. *Phormidium laminosum* is most rapidly developed in slightly alkaline water with pH = 7–8.5, though it can be present in association with other microorganisms within pH range of 5–9.5.

Lots of blue-green algae can intensively develop in



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

104. Ramified jelly-like films of dark-green thermophilic algae hang down together with the falling thermal water at the slopes of the Valley of Geysers

waters containing such toxics as mercury, arsenic and antimony. Blue-green algae take an exclusive part in the production of oxygen in the result of photosynthesis in the light. Thus, by the data of experimental studies of the Microbiology Institute of RAS carried out at Kamchatka thermal fields, chlorophyll extraction from gritstones (on which no microorganisms' development was visually discovered) revealed up to 40 mg of chlorophyll per 1 square meter of the area. In cases where blue-green algae were visible, 40–300 mg/m<sup>2</sup> of chlorophyll was extracted, whereas from the area with grasses and bushes – only 30–100 mg/m<sup>2</sup>.

Optimal conditions for the growth of blue-green algae are as follows: temperature not exceeding 70 °C, pH ~ 7–7.5, and given than their surface is abundantly moistened by thermal water flow not more than 2–3 mm thick. Their growth rate under such conditions reaches 0.5–1 mm<sup>2</sup> per a day. If the water flow reduces, algae get dry and die. Recent researches have revealed that blue-green algae also participate in the formation of geysere construction. Electronic microscope sometimes shows their silicified threads and tabular formations within geysereites. Typical object of the development of blue-green colonies in the Valley of Geysers is the geysereite edifice of the geyser (to put it more precisely, the pulsating spring) of Malakhitovy Grot that had got its name for abundant enveloping of malachite colored blue-green algae. There is surely no copper mineral of malachite in its edifice, but the algae themselves make it magnificent.

Beside aerobic blue-green algae, so-called lithotrophic anaerobic microorganisms were found in the Valley of Geysers. For their living process, they use neither energy of the sunlight nor any other organics, but mineral compounds from rocks or waters – sulphate, sulfur, iron oxides, hydrogen, carbon oxides, etc.; at that usually emitting such gases as hydrogen, methane and hydrogen sulfide. Thus, in the vicinity of geysers Sakharnyi and Sosed, microbiologists distinguished a new lithotrophic microorganism – methanogene, with temperature optimum of 60 °C. At temperature of 55 °C, another microorganism was revealed producing oxygen while anaerobic oxidation of carbon monoxide. In the vicinity of the Velikan geyser, areas of warm ground were found, where reduction of oxide iron with the formation of magnetite occurs due to lithotrophic thermophilic bacteria. These microorganisms can not naturally be recognized by naked eye, but their activity is great.

не отмечалось развитие микроорганизмов, обнаружилось до 40 мг хлорофилла с квадратного метра площади. Там, где были видимые синезелёные водоросли, выделялось 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>.

Оптимальными условиями для роста синезелёных водорослей являются такие, когда температура водоёма не превышает 70 °C, pH ~ 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 кремневые 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 °C. А при 55 °C 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*

## *Connection of geysers' activity with the hydrothermal system. The mechanism of geysers' operation*

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  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 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  $150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Трещины, по которым высокотемпературная вода поднимается вверх на участках развития гейзеров, как показывают наблюдения, представляют собой направленные вниз

Scheme of the Geysernaya hydrothermal system (fig. 4) illustrates the above notion of the formation of the flow of high-temperature pressure waters. In the zone of their discharge, where the pressure level goes beyond the relief marks due to the inset of the Geysernaya river, ground waters ascend to the surface along the fissures. As they are going up, hydrostatic pressure decreases. Since water temperature exceeds  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , steam bubbles appear at a certain depth, whose amounts increase the closer water comes to the surface and the lower the pressure gets. Once having reached its boiling-point, water «keeps» its boiling temperature when ascending further on, whereas the excess heat supplied by new portions of water turns it partially into steam. In the result, steam-water boiling springs emerge on the surface, characterized not only by water outflow, but also by steam releases, as well as geysers characterized by a kind of broken manner of steam-water mixture outpouring. Obviously, boiling springs and geysers occupy the upper and minor part of the whole system, in which migration of high-temperature (above  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) waters is the indispensable condition for their existence. Only water with temperature exceeding the boiling-point under atmospheric pressure can boil up before its discharge onto the surface. Pressure of the formed steam can thus be higher than that of a water column and lead to the ejection of steam-water mixture.

Analogous to hydrothermal systems studied by means of drill holes, and given the deep temperature of the Geysernaya system calculated by the data from geothermometers, we can suggest that boiling of waters (first ascending along fissures and then by geyser channels) starts at depth a bit exceeding that of the visible part of geyser channels. For example, within the wells of the Pauzhetka geothermal field, the level of the beginning of steam-formation (depending on certain hydrogeological conditions) ranged from 50 to 200 m at reservoir temperature of  $150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Observations show that fissures, along which high-temperature water comes up in the areas of geysers' activity, present downward channels open at the surface. Shape and area of their upper section are quite variable: from round to slot-like, from a few square centimeters up to the first square meters. Their depth can be traced at a small distance from the surface, because the more the distance is, the more these unusual vents, becoming narrower, get lost in the depth where they join aquiferous horizon (reservoir) feeding the geysers. Some details of the channel

structure can be observed during the interval between the eruptions. It is almost impossible to learn the exact shape and sizes of geyser channels at depth. More or less simple it is to define the volume of the channel right after eruption. We managed to do that pumping cold water into the emptied channel and measuring its flow rate. As one would expect, the greatest volume of channels (to be more precise, their top parts) appeared at geysers characterized by the most powerful eruptions: Velikan (25 m<sup>3</sup>), Bolshoi (20 m<sup>3</sup>), Malyi (18 m<sup>3</sup>).

As mentioned above, geyser's operation starts with the outflow of water cooled in the course of the previous eruption. Certain regularity of the outflow gradually starts being interrupted by separate water splashes and emission of steam bubbles, sometimes accompanied by short pauses in the outflow, though, on the whole, its intensity increases with time. The moment of steam bubbles' appearance in the flowing water indicates the beginning of steam formation in deeper parts of the feeding hydrotherm fissure or in the geyser channel. Progressively, the number of bubbles in the channel increases, since the continuing water outflow causes the supply of its more and more heated portions. Accordingly, hydrostatic pressure within the channel decreases, because the weight of steam-water column is much lower than that of the water column unaffected by boiling.

It should be also taken into consideration that steam takes much greater volume. For instance, at temperature of 150 °C and pressure of 1 bar, 1 kg of steam-water mixture contains only 5,6 weight percent of steam, but its volume is 50 l; under atmospheric pressure, steam portion grows up to 9.3 %, and volume – up to 157 l. That is steam volume is approximately 50, and accordingly, 150 times greater, than that of water. In this case, we can state that increasing volume of steam as if pushes water out of the geyser channel. The more water and steam-water mixture flows or bursts out of the channel and the more intensively heated water is supplied into it, the more steam is formed at still deeper levels. Boiling creeps all over the water column within the channel and feeding fissure. In the result, violent spouting of steam-water mixture starts, which is called the geyser eruption. At that moment, great volumes of steam and water are ejected if compared to the flow rate during the outflow prior to the beginning of boiling. Spectacular geyser eruption stops quite quickly, visible geyser activity fades down and moderate steaming can be often observed over the channel. At last, steaming ceases as well, indicating the beginning of the period of relative quietness before a new eruption, during which the emptied channel is gradually filled with new portions of high-temperature water supplied from the aquifer. Further on, one can observe recurrence of the described picture of a geyser work, in which four basic stages making one full cycle are appreciably allocated: water outflow, spouting, steaming and filling or replenishment of water in the channel (fig. 7). Complete period of geyser operation, including all the above stages, is called geyser periodicity and is measured by the time passing from one stage till the same stage of the next cycle, for

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 паробразования 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 °C 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 приблизительно в 50 и, соответственно, в 150 раз занимает 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 развил Круг фон Нида в 1883 г., 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 проявилось 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

instance, by the time interval between two stages of spouting (eruptions).

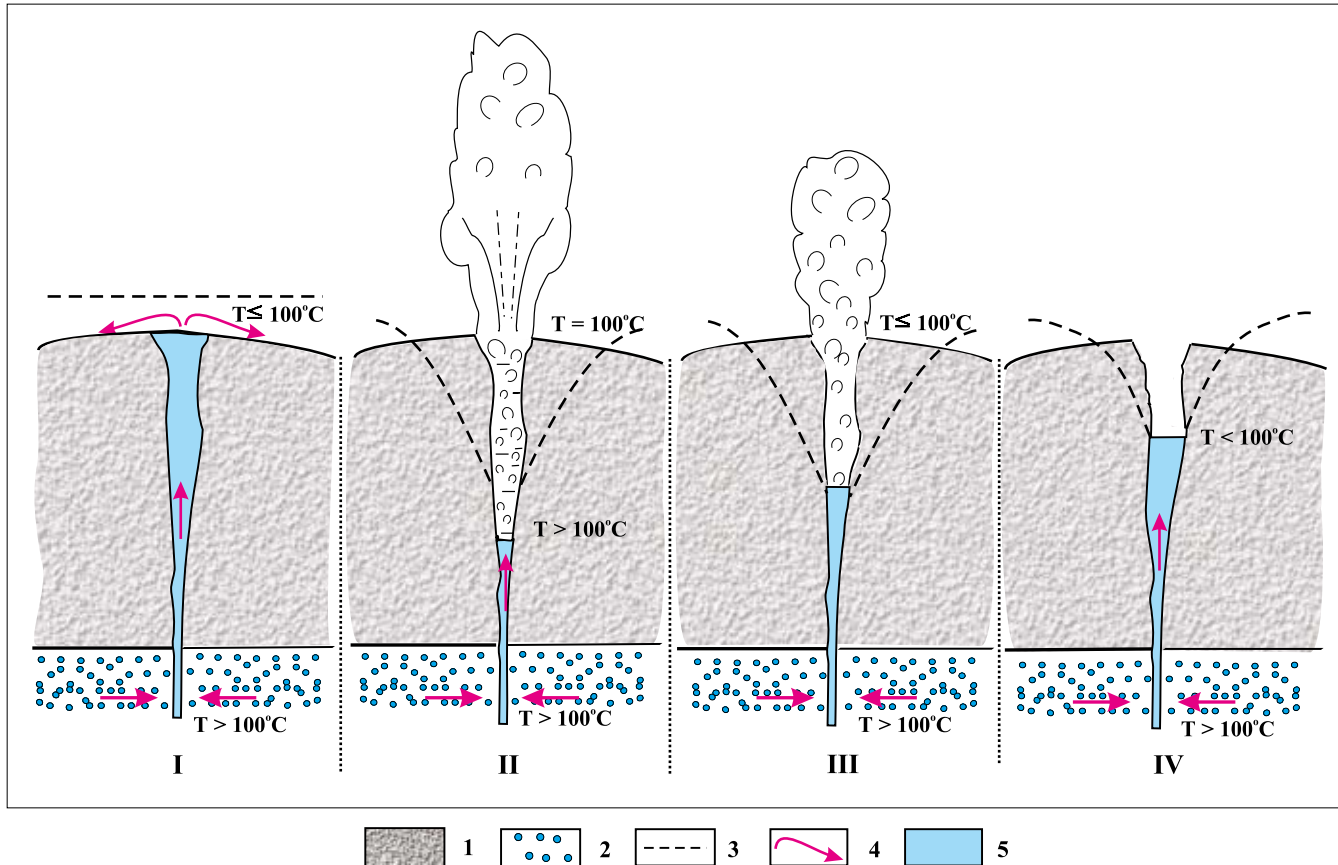
Most hypotheses explaining the causes of broken and variable character of geyser operation, are based upon the factor of probable supply of cold water into the channel, as well as upon the complexity of its structure. G. Mackenzi, who was the first (in 1811) to put a question on geyser action mechanism, came to a conclusion about the great role of underground chambers where the steam is formed that participates in geyser eruptions. These notions were further developed by Krug von Nida in 1883, having added his ideas about conditions of steam passing through water column and its accumulation in underground chambers accounting for the difference between a boiling spring and a geyser. In 1846, R. Bunzen and A. Declauzo developed a theory of the eruptions of Icelandic geysers, in order to explain their operation. The theory was based upon the data on temperature distribution within water column of geyser channel, which had shown water overheating and, accordingly, possibility of steam formation within the channel that leads to the ejection of steam-water mixture. Unfortunately, this approach did not find its further development at that time to explain periodicity of geyser operation. H. Lang (1880) associated interrupted geyser operation to the supply of cold water. Quite realistic notions of geyser activity were given by E. Allen and A. Day (1935), who based their work on 65-year surveys of geysers in the Yellowstone National Park. However, they also considered supply of cold water into the geyser channel to be the necessary condition for their periodical operation. In general, correct explanation of geyser operation and requirements for their existence was made by T. I. Ustinova, though she involves entry of cold water into the channel, as a necessary condition of the break in geyser activity.

Many details in realization of geyser regime was cleared up when studying geothermal fields with the help of drilling of wells whose production, in particular, is the steam-water mixture (photo 105). Some wells, like ones at the Pauzhetka field (Kamchatka), were characterized by broken (geyser-type) regime of steam-water mixture outflow. Steam-water drill hole is well isolated in the upper part of the casing tube, which prevents it from entry of cold surface and ground waters. In contrast to natural geysers, in this case the role of the channel was taken by the casing tube with known and constant section and regular geometry. Occurrence of geyser regime in drill holes of this kind denies periodical entrance of cold water or changing geometry of the channel to be the major factors affecting the broken manner of geyser operation.

Principally true mechanism of geysers operation became clear when analysing the work of steam-water wells, which had shown that the processes leading to geyser regime are connected to the system «well (geyser channel) – aquifer». In 1959, A. S. Nekhoroshev and V. V. Averiev concurrently demonstrated that the effect of advanced movement of steam within the drill hole (geyser channel) is prevalent in the occurrence of geyser regime. Because of different physical properties, water and

steam within the drill hole and geyser channel move on with different velocities, where steam moves much faster having lower volume weight and viscosity. In the result, due to continuous boiling and steam release, water temperature goes below the boiling-point at a given pressure (up to 100 °C within the geyser channel). Boiling ceases, as well as steam emission and the water remains in the

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



**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.

**Fig. 7. Principal scheme of action of a geyser:**

I – Stage of water outflow, cooled in the course of previous eruption of the geyser ( $T \leq 100^\circ\text{C}$ ). Steadiness of the water outflow is broken by separate splashes of water and emission of vapor bubbles sometimes accompanied by short pauses of the outflow, though on the whole, its intensification is observed due to the supply of high-temperature waters ( $T > 100^\circ\text{C}$ );

II – Stage of eruption. Supply of more and more heated portions of high-temperature waters ( $T > 100^\circ\text{C}$ ) results in the enlargement of steam bubbles, thus decreasing hydrostatic pressure within the channel, since the weight of water column with steam is significantly less than that of column unaffected by boiling of water. Finally, boiling spans all over the water column in the channel and in the intake fissure. As a result, vigorous spouting of steam-water mixture starts, with is called the eruption of a geyser;

III – Steaming stage. After an effective geyser eruption, light steaming is observed beneath the channel, with the seizure of which visible activity of the geyser ends up (temperature of water surface in the channel and its mouth is  $\leq 100^\circ\text{C}$ );

IV – Stage filling or replenishment of water level in the channel. It is the period of relative quiescence before a new eruption, during which the emptied channel (temperature of water surface in the channel less than  $100^\circ\text{C}$ ) is being gradually filled with new portions of high-temperature water arriving from the aquiferous stratum.

1 – waterproof rocks; 2 – rocks containing underground waters with temperature above  $100^\circ\text{C}$ ; piezometric level; 4 – direction of hot water movement; 5 – position of water within the geyser channel and intake fissure at different stages of the cycle.

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 скважины (канала 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. Уменьшение сечения отверстия приводит к ограничению выхода пара, вследствие чего вода уже не отстает 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



© Сугробов В. М. / Sugrobov V. M.

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

105. Vertical discharge of steam-water mixture from the wells at the Bolshe-Bannoye geothermal field (Kamchatka)

channel. There comes a break in the eruption of a geyser. Let us recall an important fact. Due to the larger volume of steam if compared to that of water, anticipatory movement of steam is possible along the channels with quite a large-scale section. Otherwise, hydraulic resistivity will considerably restrict its «free» movement. That is why geyser channel vents often present vast pools, while the channels themselves reach first square meters in their sections. In the course of applied works on testing steam-water wells at the Pauzhetka geothermal field, their geyser or pulsating regime was switched to the uninterrupted manner of steam-water mixture outflow due to reduction of vent diameter by means of controlled valve. Reduction of vent section allows limiting steam emission, due to which water is not retarded, they move together and are simultaneously ejected out of the well. The same occurs in the course of operation of boiling (steam-water) springs with constant or pulsating regime.

Similar notions of geysers activity have been stated by Donald E. White (USA).

So, what is the role of aquiferous stratum?

As mentioned above, after the geyser eruption, its operation may recommence provided that cooled water will be heated up to the temperature above the boiling-point at a given pressure. That occurs, as a rule, due to the supply of new portions of heated water from the aquifer into the channel. Flow rate of this supply depends upon filtrational properties of water-bearing rocks, to be more precise, upon certain hydrogeological conditions in the area of geyser location. If water influx into the channel (well) is limited, more or less continuous pause in the eruption is inevitable, since considerable discharge of steam-water mixture in the moment of eruption is not compensated by water supply. Thus, it can be also stated that geyser regime is conditioned by the disagreement between insufficient geyser feeding and ejection of great volume of steam-water mixture determined by great diameter of geyser channel. This was further confirmed by mathematic calculations carried out by a famous explorer of the geyser process V. A. Droznin.

Continuously operating and pulsating boiling (steam-water) springs are characterized by stable equilibrium between water influx and outflow of steam-water mixture. It is not accidental that steam-water mixture in them comes out of narrow fissures or small pores in rocks. Springs themselves are located close to the Geysernaya river brink or at stream beds where conditions are more favorable for the supply of high-temperature waters onto the surface. T. I. Ustinova noted that in contrast to springs, geysers are generally found at higher hypsometric levels.

So, we can enumerate the necessary conditions for the existence of geysers:

1. Presence of aquiferous stratum containing water with temperatures above 100 °C.
2. Possibility of boiling in the channel or feeding fissure due to the inflow of high-temperature water and rather large volume of the channel.
3. Replacement of cooled water in the channel by its more high-temperature portions either by means of water outflow (more often) or heating due to convection. In general, it is manifested in the possibility of ejection of great portions of high-temperature waters in the form of steam-water mixture, as well as its non-balanced entry into the channel. It should be noted that cold water may or does enter the geyser vent in the form of precipitates or cooled ejected water of the geyser itself. But this may affect only a short-term change of cycle duration and can not influence the broken manner of geyser operation on the whole.

The stated notions about the general mechanism of geysers operation can not always be applied to explain the action of a concrete geyser, since their regimes are quite diverse. Many researchers believe that it is necessary to work out operation mechanisms for each given geyser. In fact, variable character of geysers operation fits the frameworks of the scheme considered, but requires for its explanation involvement of minor factors also influencing the regime of any given geyser in reality. Variable character of activity is

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. Дрознин.

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

Итак, можно назвать необходимые условия существования гейзеров:

1. Наличие водоносного пласта, содержащего воду с температурой более 100 °C.
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 разлива (чаще всего), либо нагрева за счет конвекции. В целом это выражается в возможности выброса большого количества высокотемпературной воды в виде пароводяной смеси и несбалансированным её притоком в канал. Следует отметить, что холодная вода может или 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 прогрев 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. Сугрובовой 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 извержениями 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.

first of all accounted for by hydrogeological conditions: location of piezometric level of thermal aquiferous complex, filtrational properties of water-bearing rocks, as well as the section and shape of the upper part of the channel and its volume. Beside the large well-known geysers in whose operation the abovementioned four stages can be clearly distinguished, there exist smaller geysers with unclearly expressed stages of water outflow and steaming, or even ones missing those stages. Omission of the outflow stage, usually observed in geysers with small debit rate and short cycle, can be explained by the fact that the geyser channel is well isolated and heated by nearby discharges of hot water and steam. After the eruption, water remaining in the channel is heated not only due to the supply of its overheated portions from the depth, but also due to the contact with heated sides of the channel and, having hardly reached the surface, it boils up thus giving start to a new eruption. On the contrary, for geysers with similar characteristics, absence of the steaming stage is accounted for by cooling of the upper part of the geyser channel (for instance, due to cold water injections) and rapid steam condensation in the channel. In some cases, steaming is simply invisible, if steam emission rate is negligibly small.

In the result of interpretation of first systematic records of the periodicity in major geysers operation in the Valley of Geysers, N. S. Sugrobova distinguished geysers with constant operation mode and ones with unstable regime characterized by significant changes of cycle duration. For geysers of the first type, as it could be expected, typical is small area of the channel vent, short operation cycle (up to 35 minutes, on the average) and comparatively small volume of channels. Such geysers as Shchel, Malyi, Konus, Fontan, Rozovyi Konus, etc., can be referred to this group. Crater of such geysers does not typically exceed 1 m<sup>2</sup>, while the volume of the geyser crater and channel is usually less than 10 m<sup>3</sup>. Their regime is to a lesser degree dependent upon variations of hydrometeorological factors. Geysers of the second type (Velikan, Gorizontalny, Bolshoi, Troinoi, Pervenets) are characterized by greater volumes of channels, and their vents present large pools. Duration of their cycles is up to several hours, with long intervals between the eruptions and wide range of variations of cycle duration in time. In general, regime of such geysers much more depends on hydrometeorological conditions. In this respect, it is possible to state that the more a geyser structure resembles that of a well (small regularly-shaped channel section and the same its vent), the more stable cyclicity of a geysers. Otherwise, when the discharge vent is disproportionally big and has the form of a basin – bath, and the channel is far not cylindrical (which would be typical for a well), significant deviations of regular operation mode are recorded.

## *Regime of geysers. Change of hydrothermal activity. Duration of a life of geysers.*

## *Режим гейзеров. Изменение гидротермальной актив- ности. Продолжительность жизни гейзеров*

### REGIME OF GEYSERS

Nowadays, we can judge about regime of geysers in the Valley of Geysers basing upon the data of over 50 years' observations, starting from the first records made by T. I. Ustinova in 1941. It is clear, that the subject of observations over the geyser regime were first of all, duration of the complete cycle – major peculiarity in which one geyser differs from another one, as well as duration of its separate stages, chemical composition of water, general state of a geysere construction.

At the first stage (1941–1972), observations of geyser activity were occasional and sporadic. The same concerned the choice of geysers to be studied, time of the year (as a rule, summer and autumn), recognition and description of separate stages and duration of the surveys. Nevertheless, all the data on the regime of geysers are of a great value as a sort of starting points for the comparison of the following results. Since 1972, members of the Institute of Volcanology have been carrying out systematic recording of periodicity of major geysers by means of self-recording level-gage of the «Valdai» type. Recording is made on paper stripes fixed at reel connected by a cord to the floater that is placed in the water flow by which water runs out of the geyser channel vent. Fluctuations of the floater make the reel rotate synchronically, while the horizontally fixed fountain-pen dragged by the clockwork of the level-gage thus records the water level on the paper stripe. Horizontal record of the self-recorder in the diagram corresponds to the period when there is no water on the surface, that is, to the stage of filling or replenishment of water in the channel of a geyser. Vertical rise of the diagram line marks the beginning of the water outflow and spouting stages. Moments of eruption are clearly marked in the diagrams from all the geysers by a typical peak corresponding to the abrupt rise of water level due to the increasing water flow rate. Cycle duration is most precisely determined by the distance between two of such peaks or the series of them. Period of separate stages could be determined for geysers with long cycles as, for instance, geyser Velikan, in whose diagram water outflow stage itself and periodical enlargements of the outflow are well distinguished and recorded. Examples of records made by the «Valdai» level-gage are depicted in fig. 8.

During the recent years, regime of geysers has been recorded by means of automatic recording system based on

### 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 изливающейся 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 час 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.

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. Сугробовой, позволил охарактеризовать линейную связь между среднесуточной продолжительностью цикла и соответствующими среднесуточными параметрами названных гидрометеофакторов.

fixing the electric signal that appears right after the circuit closing by outpouring water. Advantage of the system introduced by V. A. Droznin is the ability of more precise fixing of the beginning of water outflow, independent long-term recording, storage and transmission of the data to the computer for further interpretation.

To complete the picture of geysers' regime studies, periodicity survey data were supplemented by the information on chemical composition of major geysers' waters, obtained by means of systematic (once a month) probe analysis. Averaged characteristics of geysers with the greatest observation period are given in table 4.

As mentioned above, geyser periodicity undergoes notable changes, first of all, due to the effect of hydrometeorological conditions. Our surveys have shown that deviations of geysers' regime subjected to the changes of hydrometeorological conditions are short-term and are referred to temporal apparent changes of the regime that is quickly restored and duration of the whole cycle and its separate stages reach their average values typical for the given time of the year. Thus, periodicity of the Velikan geyser eruptions varied significantly from year to year and from month to month: in 1974, complete cycle ranged from 1.5 h to 10 h and more; in 1976 – from 140 min to 9 h; in 1978 – from 2.5 to 8.5 h, whereas average duration of the cycle was quite constant (5 h). The most indicative cycle variations were in 1974–1975, when regime of geysers was recorded continuously over the year. Greatest dispersion of values was observed in «unquiet» meteorological periods – in December, January and February. June and July of 1974 were marked by the stability of the regime, when cycles of the same duration (4–5 h) made up 80 % of all observed within a month.

Since hydrometeorological factors (atmospheric pressure, water level in the river, rain capacity, wind velocity and air temperature) come into effect simultaneously and with various intensity every next moment, it is quite difficult to determine how each of them affects the regime of a given geyser. Only the analysis of a great series of observations carried out by N. G. Sugrobova allowed characterizing the linear connection between the daily average cycle duration and corresponding daily parameters of the mentioned hydrometeorological factors.

Studies of certain factors' influence on geyser periodicity were restricted to the analysis of the data on geysers Velikan, Bolshoi, Zhemchuzhnyi, Troinoi, Pervenets, Shchel, Malyi, Konus, as well as in some periods geysers Grot, Averievskii and Gorizontalni. The choice of these geysers was not occasional. For instance, Velikan and Bolshoi bore characteristic features of geysers with great cycle duration manifesting notable connection of their regime with hydrometeorological conditions due to great areas of the channel vents and volumes of the geyser channels. Geysers Shchel, Konus and Malyi gave characteristics to numerous geysers with short periods (up to 37 min), manifesting less demonstrative reaction to the changes of hydrometeorological situation.

The most effective factors are atmospheric pressure, river level, for some geysers (like Velikan) – power of wind, temperature and rainfall. Practically all geysers are remarkably affected

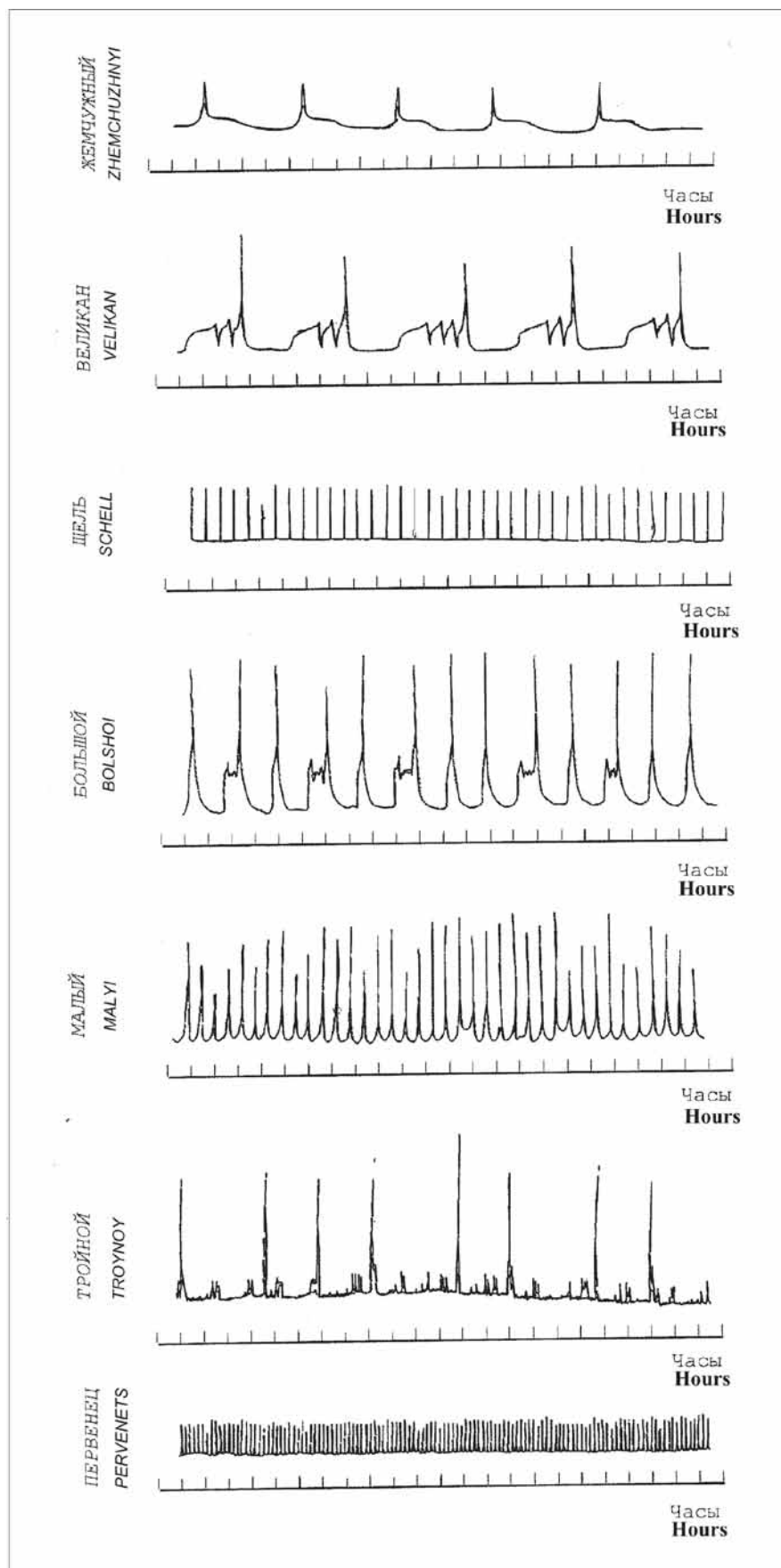


Рис. 8. Диаграммы записи режима гейзеров самописцем уровня воды «Валдай»

Fig. 8. Diagrams of regime of geysers regime as recorded by the «Valdai» limnograph

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 гидрометеобстановки.

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,

Таблица 4. Характеристика основных гейзеров (период наблюдений 1941–1993 гг.)  
Table 4. Characteristics of major geysers (observation period: 1941–1993)

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

by the changes of atmospheric pressure, especially by its abrupt variations; while for short-period geysers (Shchel, Konus), this connection with the pressure is in inverse proportion. Reverse reaction to changes of pressure, that is, shortening of the cycle at pressure increasing, is natural. When pressure increases, boiling within the channel occurs at higher temperatures, and the level of steam formation shifts to a greater depth, accordingly. The lower the steam formation level is, the greater is the difference of pressure in the aquifer and channel, and, correspondingly, the greater is the inflow of high-temperature water. Eruptions of a geyser become more frequent, that is, the interval between the eruptions tends to becoming shorter. Such a connection characterizes the effect of river level variations on the regime of the geysers located close to the river brink (in particular, that of geysers Velikan and Pervenets).

Geyser Pervenets is an exception, for which, on the contrary, prolongation of the cycle was observed in case of increasing level of ground waters due to abundant rainfall, especially in cyclonic periods. This is accounted for by the fact that cold ground and surface waters enter the upper part of the geyser channel located at the very river brink, cool thermal water thus reducing the boiling process. Dilution by cold water is manifested in changes of the chemical composition of water in the geyser. During the «Elza» cyclone activity, accompanied by high rise of the river level, dilution reached 40 %.

Precipitation both indirectly affects the regime of geysers, influencing the rise of the river and groundwaters level, and directly-during strong rains. Temporal water flows appearing in such periods bring cold water to the discharge vents of the geyser channels, thus prolonging the process of boiling and, consequently, the duration of their operation cycles. Effect of air temperature is typically faded by much stronger effect of other hydrometeorological factors. We can only note that for the geysers Velikan and Bolshoi, significant temperature decrease intensifying evaporation from the near-mouth baths leads to the increasing periodicity.

As mentioned above, in reality, hydrometeorological factors operate simultaneously, hence, in different moments of time, influence of one and the same factor onto the regime of geysers is never equal, even given the equality of its absolute magnitude. Evidently, appreciable changes of a regime a certain geyser take place under the effect of hydrometeorological factor prevailing at present. Total effect of all the factors is produced by their complex action. Combinations can be numerous and seldom repeated, changes of regime are accordingly various either.

In the course of geysers regime studies, certain link of the regime with earthquakes was noticed, in particular, the tendency to decreasing periodicity prior to seismic events. Let us recall that first such reaction of geysers to earthquakes was reported by American researcher I. Rinehart. It is possible to hope that future observations of geysers regime in the Valley of Geysers will help to discover some unusual precursors of strong earthquakes in Kamchatka that can be used for their prediction.

In spite of the above short-term (sometimes quite significant) deviations of regime of geysers due to the effect of external (hydrometeorological) factors, still their operation mode

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

Выпадающие осадки оказывают как косвенное воздействие на режим гейзеров, влияя на подъём 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 из гидрометеорологических факторов 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 изменения 1941–1969 гг. (табл. 5).

Таблица 5. Продолжительность циклов действия гейзеров в многолетнем периоде наблюдений

Table 5. Duration geyser operation cycles during the long-term period of observations

Гейзеры Geysers	Продолжительность циклов (в минутах) в августе за различные годы 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 Perveneets	46	65	138	150	–	12	14	12	11	12	16	24	30	57	77	64	–	50	57
Тройной Troinnoi	–	153	145	145	150	169	150	145	148	145	162	175	177	170	140	154	–	144	154
Конус Konus	–	20	18	22	24	22	22	24	24	23	23	23	24	24	26	26	–	28	22
Малый Malui	32	32	31	32	33	33	36	36	36	34	33	35	37	37	38	–	39	38	40
Большой Bolshoi	107	97	87	88	87	74	99	92	115	111	124	142	134	95	83	85	86	85	120
Щель Shchel	–	38	35	37	33	–	37	37	36	38	35	39	37	37	36	37	36	36	36
Фонтан Fontan	16	16	23	16	21	17	13	15	–	–	17	–	18	–	–	–	–	17	–
Великан Velikan	172	–	190	253	278	306	320	292	297	298	306	345	281	297	312	291	329	320	411
Жемчужный Zhemchuzhnyi	–	328	264	260	268	254	272	264	249	259	265	293	232	244	218	219	212	190	211
Горизонтальный Gorizontalny	–	–	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. Сугробовой, В. М. Сугробова.

Note: Data on 1941, 1945, 1951 – by T. I. Ustinova; on 1960 – A. A. Raik; on 1961 – V. I. Vinogradov; all the others – N. G. Sugrobova, V. M. Sugrobov

remains quite stable, as it has been revealed in the course of many-year monitoring. This lies, first of all, in almost unchanged periodicity and chemical compositions of water. To confirm this statement, Table 5 presents the long-term data on the duration of geyser cycles, including occasional measurements of 1941–1969. For comparison, the Table contains some information on geysers cycle durations recorded under similar meteorological conditions, in the given case, in August and nearby days. As it is seen from the Table presented, periodicity of only two geysers (Velikan and Pervenets) has undergone significant changes for that period. Cycle of the Velikan geyser was changing gradually, increasing from 2.5–3 h to 5.5–6.5 h, whereas deviations of the Pervenets regime was much more «capricious». In 1960 duration of the cycle made 2.5 h (in 1941–1945 – about one hour), in 1961 the geyser worked as a pulsing spring, and the following years the cycle of the geyser became almost equal to the duration marked by T. I. Ustinova (50–60 min). Features of «instability» of the regime were also observed at the Bolshoi geyser.

Though the data presented in the Table differ in the number of observations, on the whole they reflect general behavior of geysers in the named period of time. This allows coming to a conclusion that regime of the geysers studied did not undergo any significant changes for quite an extended (over 50 years) period of time. We can also note that for the same period, practically stable remained total discharge rate of thermal waters, that is, its volumes discharged onto the surface by fissures. This discharge of thermal water was determined by the so-called hydrochemical method (it was mentioned above) once or twice a year, starting from 1962. Accordingly, natural heat discharge of the hydrothermal system did not change much as well. This and the stability of chemical composition of geysers water can indirectly testify the invariance of temperature of water at depth. That is, everything points to the stability of basic parameters of the hydrothermal system (including the relative stability of geysers regime). Obviously the period of our observations in scale of geological time is too small to notice, potential, essential changes of hydrothermal activity. However, during the same period, certain notable changes of surface hydrothermal activity did occur.

## *Change of surface hydrothermal activity*

All the abovementioned changes were conditioned by external factors having no direct connection with functioning of the hydrothermal system. The greatest effect was produced by the powerful typhoon «Elza» that had rushed over the Kamchatka Peninsular on October 4–6, 1981. According to the data of the Hydrometeorological Center of Petropavlovsk and Semyachik, wind speed on those days reached 40 m/s, the precipitation total being up to 92 mm, which resulted in the rise of water level in the river for 2.5 m and even more.

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 оставалось постоянным. 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 гейзеров Большого и Малого срезаны нижние прирусловые части гейзеритовых натеков. 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 урзу 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

The river flow rate (as calculated) made up to 20–25 м<sup>3</sup>/s, that is, about 10 times greater than that typical for this time of year. The river was carrying rock blocks over 1 m in diameter. It washed out its banks, leaving steep precipitous slopes on one side and shallows on the other. Eroding effect of the raged stream was the greatest in places of sharp turns of the river and the increased inclines of the channel. In the very river-bed, ledges were cut down that used to form small waterfalls in the vicinity of the Velikan geyser.

As a result, the river-bed had cut in for 3.5 m, widened and its longitudinal profile got notably smoother. Naturally, the speed of the current has decreased. Lower part of the construction of the pulsating spring Malakhitovyi Grot was destroyed; in the area of geysers Bolshoi and Malyi lower (near-bed) parts of geyserite's sinter were cut off. The river-bed got notably changed in the vicinity of geysers Konus and Bolshaya Pechka – it became narrower. Foot of the slope beside the Konus geyser used to be quite precipitous. At present, the bank here is a few meters wider, forming a gentle slope with a large-pebbled shallow. Violent river flooded geysers located close to the river brink; discharge vent of the Bolshaya Pechka geyser was so much stuffed with gravel and pebbles that after the cyclone its operation stopped as well. The same reason made the Mnogostruynyi spring remain inactive for 2 years. Water running down the slopes flooded the bath of the Velikan geyser, while its geyserite ground was littered with small debris, sod, and clays brought by temporal waterflows. From an abrupt slope the uprooted birch fell upon the platform.

The cyclone rendered also direct influence on the regime of geysers, and the most striking that effect was for geysers Velikan and Pervenets. Average cycle duration of Velikan used to be 5–5.5 h before the cyclone. In the course of the event itself (evidenced by the observer V. N. Nechaev), being all flooded with cold waters of the streamlets running down the slopes, the geyser did not operate at all from October 2 till 5. In the first days after the cyclone, Velikan began spouting with the intervals of 3.5–4.5 h, whereas for the Pervenets geyser prolongation of the cycle was recorded from the average of 30 min to 65 min. Immediate cause of those regime changes was evidently the entry of slightly mineralized ground water and waters of surface drainage into the geyser channels. This fact is evidenced by chemical analyses of geyser water probes sampled two weeks prior to the hurricane and one week after it. For instance, chlorine concentration in the water from the Pervenets geyser reduced from 415 mg/l to 280 mg/l. Portion of diluent cold water made up (as calculated) 30 % for Pervenets, and 5 % for Velikan. Behavior of other geysers tended to shortening of the operation cycle. Summer observations after the cyclone showed that regime of most geysers (as well as their chemical compositions) was restored. Geyser Pervenets was the only one whose cycle remained prolonged. Geyser Bolshaya Pechka has never come to operation again. In general, regime of geysers itself changed insignificantly and only for the short period of the cyclone activity.

«Elza» cyclone stressed one more consequence of hydrothermal activity affecting the state of the whole Valley of Geysers, in particular, to the change of surface relief – for-

mation of landslips. In the areas of steam discharge, solid rocks exposed to acidic solutions (formed in the result of steam condensation and gas dissolution) gradually turn into relatively soft clays that can be easily washed out by waters of surface run-off. Flattened plateaus are formed in such areas, thus changing the relief. This process is more intensive at the steep slopes due to the landslide events whose occurrence is associated with clays' watering during rainfalls and snowmelts. Additional factor for slide occurrence in spring is the stress on the clay mass of many-meters' thick snowfields. In cyclonic period, heavy rains oversaturate the clay body of the future landslide loading it with extra weight of water.

The above results in shifts and slides of huge rock bodies from the slopes of the valley during the cyclone. One of such slides took place at the left slope of the Geysernaya river, 300 m away from the spring of Malakhitovyi Grot, 80 m above the river. It was confined to the area of evolution of altered rocks and steaming grounds. Depth of alienation a body of a landslide would reach 6 m, width of 4,5 m.

Development of landslips during continuous hydrothermal alteration of hard rocks transforming them into clays, oversaturation due to rainfalls and snowmelts, additional loading on a clay file of snowfields and weights of liquid precipitates, essentially influence on relief-formation.

It is not occasional that significant surface changes can be observed in the areas of occurrence of clays and steam discharges in the form of separate streams or pattern steaming. Extended parts of the Geysernaya river valley and its tributaries are confined to such areas.

In the zones, where hydrothermal activity is manifested by hot and boiling springs, slopes and sides of the river and brooks are, on the contrary, much firmer, because they are strengthened by debris and large blocks of rocks consolidated by the sediments from hot siliceous waters. Example of this sort of zones is the above described «Wall of Tiny Geysers».



106. Ручей Водопадный выносит тепло горячего блока пород оползня

106. The Vodopadnyy Creek carries up the heat from the hot zone of the landslide rocks

The most significant changes within the Valley of Geysers can be also considered the collapse of the Burlyashchii

циклона года показали, что режим большинства гейзеров (в том числе и химический состав воды) восстановился. Сохранил удлинённый 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 первой 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 перестал 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.

(Bubbling) pot at the Upper-Geyser Field and failure of a part of the precipitous slope here. Collapsed material and rock blocks of different dimensions were littered over the surface of the thermal field thus having considerably changed the picture of surface thermal manifestations. Since the above events occurred right after a series of quite perceptible seismic impacts (in 1986), a member of the Institute of Volcanology O. F. Kardanova who was the first to observe the results of what had happened, justly states the reason of the collapse to be an earthquake. Disappearance of the Burlyashchii pot took place in the same period, which was most probably caused by the same fact – seismic impacts resulted in the reconstruction (compression) of the feeding fissure or the system of fissures. Goryachii brook fed mostly by the waters from the Burlyashchii pot, in fact, also vanished. Generally evaluating the described changes of hydrothermal activity, we can conclude that cyclonic effects occurring repeatedly during a long period of time, as well as strong earthquakes, essentially influence the changes of the landscape of the Valley of Geysers, particularly the changes of surface hydrothermal activity.

## Продолжительность жизни гейзеров

## Geysers' lifetime

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 рекой 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 вре-

As it follows from the above presentation, existence and evolution of geysers is connected with evolution of hydrothermal activity within the boundaries of high-temperature hydrothermal systems. Formation of the Geysernaya system, to which geysers of the Valley of Geysers are confined, started about 10 thousand years ago after the last period of glaciation. Evidently, during the whole period or its part, surface hydrothermal activity evolved as well. We can suggest that at the beginning, thermal manifestations were presented by steam-gas jets, and then, as the Geysernaya river was exposing the sediments overlapping the hydrothermal reservoir, piezometric level of thermal waters exceeded the original ground, thus creating the conditions for the formation of springs and geysers. In other words, geysers might more probably appear immediately prior to the present-day stage of the hydrothermal system evolution, though, theoretically, springs and geysers could come into life at any stage of its formation. There is no direct data on the age and lifetime of geysers. V. V. Averiev came to the estimation of the Velikan geyser age based on the rate of geyserite growth. Layered geyserite shield over the Velikan construction reached 10 cm in thickness. Assuming that each layer formation took one year (according to the recorded present-day one, 0.1 mm thick), period of the shield formation is easily determined to be 1 000 years. Consequently, Velikan or its predecessor might appear about 1 thousand years ago. The same age order for the Troinoi geyser is presented in this manual by G. A. Karpov. Resulting the estimation of continuous work of geysers is to some extent confirmed by insignificant change-

ability of geysers' state and regime in the Valley of Geysers during almost 60 years of observations.

Unfortunately, there is quite few information about the duration of geysers' life in other areas of their occurrence either. The earliest mention (1294) about geysers refers to Iceland, where geyser eruption was first reported, which gave the name for all the geysers of the World – that of Geysir. That one is still operating, that is, its age is at least 700 years. Famous geysers of Yellowstone in USA and in New Zealand have existed for at least 150 years already, which is evidenced by their first descriptions given in the middle of the nineteenth century. However, in one of the zones of modern hydrothermal activity – Orakeikorako (New Zealand), according to the legends of the natives (Maori), hot springs (geysers?) already occurred in 1600, that is, they are certainly over 400 years of age. In Kamchatka, activity of boiling springs and geysers was reported in the valley of the Pauzhetka river 260 years ago by S. P. Krasheninnikov.

Thus, if to take into consideration all the direct and minor data on the duration of life of geysers, it becomes obvious that they can operate for a few hundred years, and, presumably up to 2–3 thousand years. This naturally refers to the duration of geyser operation in general. Individual geysers are born and live in much smaller time intervals. It is clear, as during shorter period of time the external conditions influencing the work of geysers change, in comparison with the basic parameters of hydrothermal activity as a whole about what it was spoken above. We speak, first of all, about the change of conditions for thermal water discharge, that is the geometry of the channel and vent, morphology and dislocation of the channel of a geyser in the fractured environment. This in many respects defines the possibility of cold ground and surface waters as well as cooled waters ejected by the geyser itself, to enter the geyser system Earthquakes can also affect these conditions.

There are remarkable examples of behaviour of individual geysers according to supervision in other countries in which geysers operate. The shortest period of operation was reported for the geyser Waimangu in New Zealand. It emerged in 1900, operated for 4 years only and died out due to sudden drop of water level in the nearby lake. Notable is that collapse of this geyser did not indicate the seizure of geyser activity as such. 2–3 smaller geysers are still operating in this area. In 1886, another New Zealand geyser named Tetareta was completely buried during the eruption of the Taravera volcano, as well as two magnificent geyserite terraces. But even volcanic eruption failed to stop hydrothermal activity: some time later, new thermal manifestations appeared at the sites of the terraces and geysers. Described is the case of geyser activity restoration and even formation of a new geyser (Seismic) at the geyser field Upper Basin in Yellowstone National Park in the result of a strong earthquake in 1959 with epicenter located in the vicinity of the western border of the Park.

It is necessary to note especially about disappearance of geysers under influence of artificial factors. Thus, sampling of great volumes of high-temperature waters from geothermal wells recently drilled around geyser fields for the operation

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 результате 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 упоминавшемся 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.

of geothermal electric power plants essentially reduces piezometric level of the aquiferous stratum. In the result, hot ground waters can not reach the surface to form springs and geysers. In most cases, this leads to disappearance of other kinds of surface hydrothermal activity as well. For instance, in the area of the Pauzhetka boiling springs in Kamchatka, work of a geothermal electric power station became the reason of disappearance of small geysers, boiling springs and other thermal manifestations, once decorating the Pauzhetka thermal field. The same phenomenon was observed at thermal fields of New Zealand and Iceland. In New Zealand, at the abovementioned geyser field of Orakeikorako, most geysers were simply flooded by the waters of a water reservoir that had formed after the construction of the dam on the Waikato river.

However, we believe that most individual geysers appear, transform or collapse not due to the above natural or artificial reasons, but because of changes of the morphology of water discharges at the site of a geyser, or changes of the geyser channel. At the same time, significant is the role of the geyser itself, whose operation develops or heals the channel and the system of feeding fissures. Watching such transformations is possible only in the course of long-term systematic observations of the certain geysers' operation. Such observations are not numerous, and hence, the examples of geyser operation changes are quite poor.

In the Valley of Geysers, where the period of systematic surveys is not large, cases of transformation of boiling springs to the geyser operation mode and vice versa have been reported. In 1975, at the right side of the Vodopadnyi brook, a geyser had emerged in a round funnel with small flow rate. Next year, having no drainage, water temperature within the funnel stopped reaching the boiling-point and went on slightly steaming due to the steam supplied to the fall-bottom filled with water of surface run-off. Appearance of a small fissure for water outflow was enough to give rise to a spring with the geyser operation mode. In the case considered, the reason of the geyser collapse and restoration was the change of pressure differences in the channel due to the change of morphology of the discharge site. Boiling springs Paryashchii and Averievskii passed to the geyser operation regime as well. In 1987, a new geyser (Kotly) appeared at the VII (Lagernyi) Site, beside the Blue Lake. Tendency for changing the regime to the geyser one manifested by a number of constantly active geysers at the Central Site of the Valley of Geysers, as well as the birth of a new geyser, is associated with the spreading fissuring, extension of geyser channels and, possibly, with the lowering of the pressure level of the thermal complex due to the sunken level of the river. This fact also contributes to the abovementioned prolongation of the Velikan geyser periodicity.

Transformation of geysers to boiling water pots and their disappearance due to fissure closure by solid siliceous sediments have been reported for geyser fields of Iceland, New Zealand and Yellowstone national Park in USA. In the Valley of Geysers, this sort of «self-curing» of fissures and channels of small geysers by silica deposits and their consequent disappearance is clearly traced



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

106. The valley of Vodopadnyi Creek buried with deposits of the mud-and-rock slump, October 16, 2007

at the sites of «Tiny Geysers». Unfortunately, there is not many recorded cases of such transformation of geysers and boiling springs, since numerous minor thermal manifestations often appeared outside of a field of vision of researchers. Quite probably, rounded pots filled with water of chloride-sodium (geyser) composition with temperature close to the boiling-point are nothing but the former large geysers. Isometric water pool (Kruglyi), located opposite to pulsing springs in holes, and the Blue pot can be evidently referred to that group.

So, coming back to the duration of geysers lifetime, we can with some certainty state relatively short-term activity of individual geysers and changes of their regime within hundreds and dozens of years, as well as more durable existence of geyser fields (hundreds and few thousand years). Duration of life of individual geysers is much shorter, because much more various external factors affect their operation, to which refer the «self-destroying» action of the geyser itself that enlarges or reduces the diameter of the channel and changes its form.

It is surely impossible to determine the time of transformation or collapse of certain individual geysers. Based upon our knowledge of geysers and the above poor data on their lifetime, we can only suggest that geysers in the Valley of Geysers will go on operating for the nearest hundreds of years. As for individual geysers, their transformation or even collapse is possible already in our century. Sad as it is, geysers Velikan and Grot are the first in the list of large geysers of the Valley of Geysers, whose disappearance is the most probable. The matter is that Velikan, having quite small average flow rate and vast bath surface in the upper part of the channel, has almost reached the

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 крем-

нистыми отложениями описано для гейзерных полей Исландии, Новой Зеландии и Йеллоустонского 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 ску-

пых 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 приносимой 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.



*Грязекаменный поток перекрыл речку Шумную и завалил гейзер Первенец*  
*The mud-and-rock flow has dumped up the Shumnaya River and blocked Pervenets*

balance between the energy supplied from the system's depths and that lost due to eruption, water evaporation and heat emission through the channel walls. Further insignificant widening of the bath and probable reduce of high-temperature water influx due to the lowering piezometric level may result in the irreversible transformation of the geyser first to the pulsating spring, and then – to the water pot. Geyser Grot is now in the similar state, but, in contrast to Velikan, it is more defended by the walls of the grave from intensive evaporation from the bath surface; besides, it is characterized by greater average flow rate per second. On the other hand, being located hypsometrically higher than Velikan, Grot stays as if at the breaking point of possible ascend of high-temperature waters to the surface, which naturally weakens the action of geyser.

The main part of this review had been written when one more rockslide happened on June 3, 2007, in the upper reaches of the Vodopadny Brook. This event demonstrated that, together with evolutionary changes of surface hydrothermal activity described above, giant relief-forming rockslides changing the landscape and surface manifestations of this activity can suddenly occur from time to time causing appearance/disappearance of geysers and thermal springs or modification of their discharge.

The description of a natural catastrophe in the Valley of Geysers is given below.

## *Landslide in the Valley of Geysers on June 3, 2007: formation and consequences*

We have got used to consider the Earth to be hard and stable but it permanently evolves and is subjected to various deformations caused by both external (of space origin) and internal (mainly magmatic) processes. However, when a catastrophe (earthquake, volcanic eruption, glacier motion, large rock fall or landslide) occurs, especially with the accident victims, we remember that Earth may be unstable and dangerous but soon forget it and get calm again until the next catastrophe occurs.

### **LANDSLIDE: FORMATION CONDITIONS**

The natural catastrophe occurred in the Valley of Geysers on June 3, 2007, 14.20 (local time). The complicated landslide accompanied with mud-and-rock slump resulted from rock fall, slip and shattering of steep slopes in the upper reaches of Vodopadny (Waterfall) brook (Fig. 9, 10). The flow reached the Geysernaya (Geyser) River and was spread along its valley downwards the river mouth. The dam was formed in the place of inflow of the Vodopadny Brook into the Geysernaya River, above which a large barrier lake formed later (photo 106). The most beautiful places, namely waterfalls, basins, geyser cones were buried under landslide deposits. Human victims did not take place only due to lucky concurrence of circumstances. The huts in the Valley of Geysers did not suffer from the landslide too: the mudslide stopped only one meter apart from the wall of the camping! The people were not hurt, and this was the main.

The slope failure started as an ordinary slide represented by the shift of the rocks to a lower hypsometric level. During the first phase, the flow of mud and coarse fragments was formed, mainly due to thawing of the frozen coarse slope deposits and thick snow layer. In the valley of the Vodopadny brook, fragmented and hardly watered mass of rocks formed a typical mud-rock flood consisting of water, snow, boulders and finer varied-sized rock fragments (Pinegina, Delemen, Droznin et al., 2007). The flow moved with the rate of 35–40 kph uprooting trees and bushes when passing. Its front reached the place of confluence of the Vodopadny Brook with the Geysernaya River, where the dam began to form blocking off the river valley. During the second phase, simultaneously

## *Условия образования и последствия оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров*

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 гипсометрический уровень. В первую фазу обрушения произошло образование обломочного грязекаменного потока, преимущественно сформированного за счет оттаявших грубообломочных склоновых отложений и толстого снегового 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

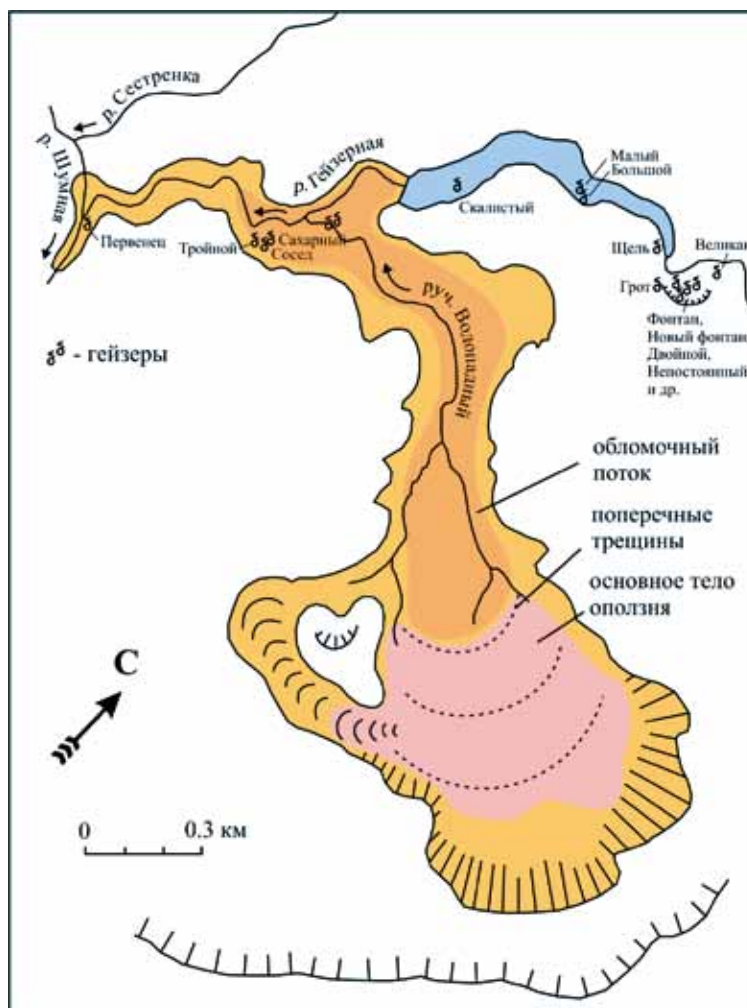


Рис. 9. Схема и плановый аэрофотоснимок оползня, образовавшегося 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров на Камчатке. На схеме видны основные элементы строения оползня, более темным цветом выделена его центральная часть, где мощность отложений была максимальной и достигала 60 м. Фото Я. Д. Муравьева (ИВиС ДВО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

Fig. 9. The scheme and aerophotographic image of the landslide of June 3, 2007 in the Valley of Geysers in Kamchatka. The main elements of the landslide are shown, its central part where the thickness of deposit was maximal and reached 60 m is marked by more dark colour. Photo by Ya. D. Muraviev (Institute of Volcanology and Seismology of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences)

with passing the rock-and-mud flow during 2.5 min, the bench failure in near-watershed part of the river valley (in upper reaches of Vodopadny Brook) was continued. The detrital avalanche of the second phase (practically dried) moved along the surface of first-phase deposits downwards and stopped only one meter away from the building, at 500 m.a.s.l. (photo 107). During the last (third) phase of failure, there was a rock-slide that covered only a part of the avalanche of the second phase, because of smaller slope-height and more slanting underlying surface.

As a result, the unified amphitheater opened to northwest was formed in the valley head of the Vodopadny Brook. Its subvertical wall about 150 m in height stretches NE for about 800 m. The landslide and detrital avalanche were extended

обломков (см. Пинегина, Делемень, Дроздин 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



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

Fig. 10. The view of the landslide of June 3, 2007, from the west. The different colores indicate: wall of break (yellow), body of landslide (brown), barrier lake (blue). The arrows show the direction of the landslide motion. Basic group of geysers which were not damaged by the landslide are shown in framework with figures: (1) First, (2–4) Triple, Sugary, Neighbour, (5) (flooding lake) – Near-Waterfall, (6) Rocky, (7, 8) Cone, Large Oven, Small; 10–18 – Large, Crack, Grotto, New Fountain, Fountain, Double, Inconstant, Giant, Pearl

(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 подпружного озера превысил её высоту, начался частичный 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 период 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



© Делемень И. Ф. / Delemen I. F.

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

**107. The detrital avalanche of the second phase of failure has stopped only one meter away from the camping. The middle part of the landslide**

to the west and north-west for more than 1.7 km as a band of 0.2-0.4 km in width.

After the avalanche, which resulted in forming the dam at the Geyzernaya River, water was collecting before the dam during four days. When water level in the barrier lake exceeded the height of dam, its partial wash-out began. The river almost instantly cut into the dam body up to 8–10 m in depth. In four hours water level in the lake dropped by 9 m. Washed-out material deposited along the channel of the Shumnaya (Noisy) River. The maximal depth of the lake appeared to be 20 m.

The landslide is considered huge in size. According to calculations carried out by V. N. Dvigalo, the employee of Geodesy and Remote Research Techniques Lab of Institute of Volcanology and Seismology of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, the volume of the landslide makes 20.7 millions cubic meters. Unambiguously, it is the largest landslide in Kamchatka during historical period of observations, and one of the largest to have ever occurred for historical time in Russia.

As always when catastrophe occurs, there is a question: whether it was possible to foresee or forecast such evolution of events? Whether there were forerunners of the landslide? Various factors could influence the landslide formation in the Valley of Geysers. Basing on the data on geology and hydrogeology of the region obtained before (Leonov et al., 1991), we consider the following to be the main factors contributing the landslide formation:

- geological position: location at the caldera-side zone, the presence of lacustrine deposits in the caldera and adjacent to its side and inclined towards the valley of the Geyzernaya River;

- peculiarity of hydrothermal discharge: location of thermal fluid upflow area to the east and lateral hydrothermal fluid flow from NE to SW direction, towards the Geyzernaya River;
- peculiarity of rock section: the presence of water-permeable and waterproof layers;
- morphology of the slope: steep benches formed as a result of slopes underwash by brooks;
- rock alternation caused by hydrothermal activity;
- tectonical fractures;
- probable regional distortion of Earth's surface related to volcanic activity.

### Geological position.

#### General structure and morphology of the slope

The landslide occurred within the Uzon-Geyzernaya volcano-tectonic depression, near its eastern rim undercut by the Geyzernaya River and its tributary – the Vodopadny Brook (fig. 11).

The depression has been formed about 40 thousand years ago and was subsequently filled by lacustrine deposits 300 m thick. In early Holocene, about 8–9 thousand years ago, the lacustrine sequence began to be washed out. The deepest cut into sequence occurred near the eastern rim of the caldera where lacustrine deposits, in some places, were completely washed off. The river scouring lacustrine deposits revealed deep parts of their structure, rich in lenses of breccias and conglomerates; numerous thermal springs and geysers are confined to such rocks.

The head of the Vodopadny Brook is one of few sites in the eastern part of the Uzon-Geyzernaya depression where outliers of the upper part of lacustrine deposits have remained. At the same time, their layout, structure, attitude of

юго-запад в сторону р. Гейзерной;

- особенность разреза пород, в которых произошел оползень, – наличие водопроницаемых и водонепроницаемых 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 вулcano-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, 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

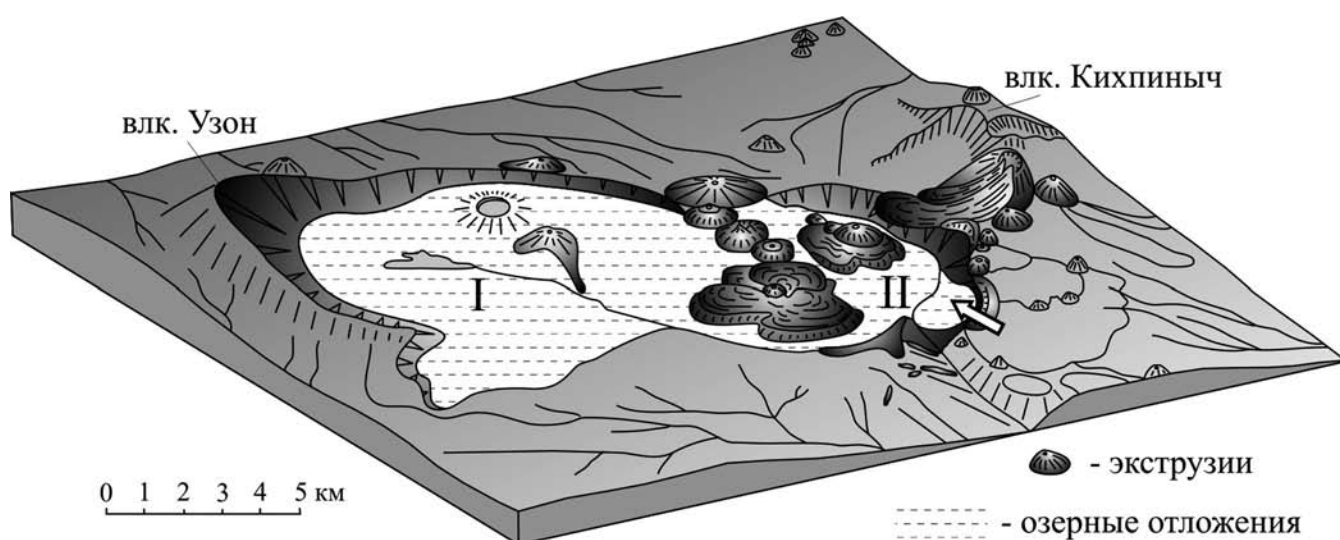


Рис. 11. Блок-диаграмма Узон-Гейзерной депрессии:

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

Fig. 11. The scheme of Uzon-Geyzernaya depression:

(I) Uzon Caldera, (II) Geysers Valley. The arrow shows the site of the place of the landslide of June 3, 2007

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 водонепроницаемые слои. Все это наряду с падением пород в сторону долины, наличием тектонических трещин, о которых будет сказано подробнее далее, – важные факторы оползнеобразования.

### Изменения пород, вызванные гидротермальной деятельностью

Особенность гидротермальной системы, очагом разгрузки которой является Долина гейзеров, заключается в том, что тепловое питание ее осуществляется в недрах сложного, расположенного северо-восточнее, массива вулкана Кихпинч (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 размыты, там 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 Кихпинч, а озерные отложения, прислоненные к лавам, –

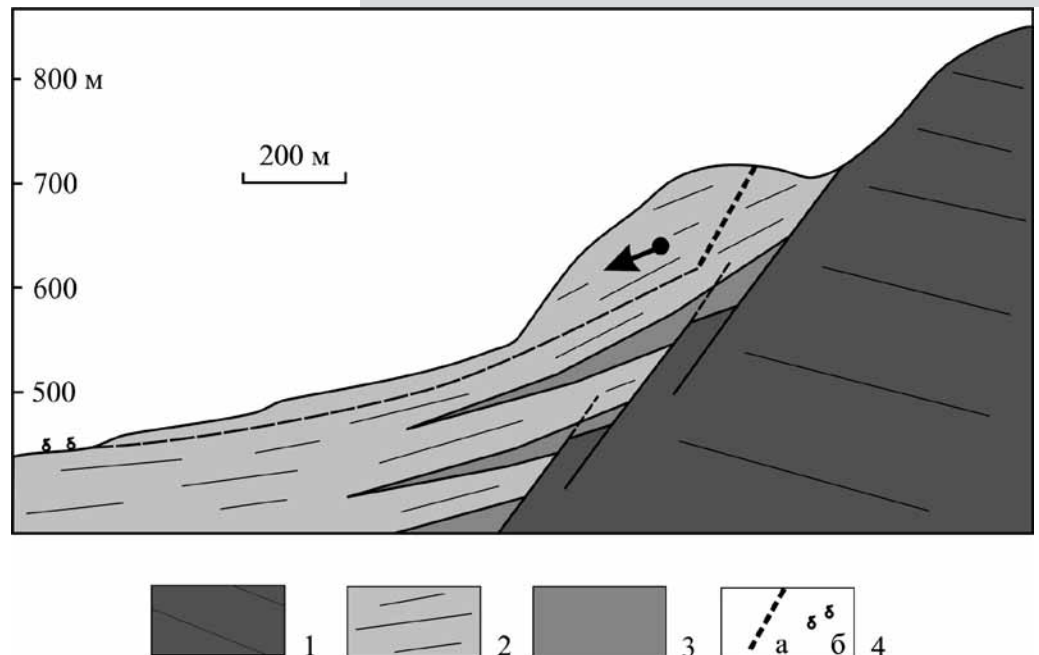
the forming rocks create favourable conditions for landslide formation (fig. 3, 12).

The structure of lacustrine deposits at the head of the Vodopadny Brook is represented in fig. 12. There massive hard rocks and less competent rocks were altered hydrothermally. Water-permeable and waterproof layers are intercalated. All mentioned above, together with rock dip towards the valley and tectonical fracturing (in detail, see below) are the main factors of landslide formation.

### Rock alteration caused by hydrothermal activity

The hydrothermal system, that discharges in the Geysers Valley, is heated in the interior of complicated massif of the Kikhpynch Volcano located to the NE (fig. 11). According to the model proposed by V. M. Sugrobov and N. G. Sugrobova (Sugrobov et al., 2004), the flow of thermal water is directed from heat feeding area to the Valley of Geysers (fig. 4, see above sections).

This model is confirmed by thermometric survey carried out in Valley of Geysers (Leonov et al., 1991). It has shown that the main part of thermal anomaly is located in the eastern side of Geyzernaya River along scarps of pre-caldera lavas forming the eastern rim of the Uzon-Geyzernaya depression. In the lower course of Geyzernaya River, where the Valley of Geysers is located, thermal water discharges from lacustrine deposits. In the upper reaches of the Vodopadny Brook la-



**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.

**Fig. 12. The structure of lacustrine deposits exposed by the Vodopadny Brook and their contact with the rim of the Uzon-Geyzernaya depression:**

(1) pre-caldera deposits; deposits filling the depression; (2) lacustrine deposits, (3) – lens of breccias, (4a) fracture of break, (4b), thermal sources. The point with arrow indicates barycentre of large outlier of lacustrine deposits, the movement of which caused the landslide of June 3, 2007

custrine deposits are absent. There, lavas forming the rim of the Uzon-Geyzernaya depression are exposed and thermal springs and fields are observed everywhere. It evidently testifies that pre-caldera lavas are permeable for hydrothermal upflow from the interior of the Kikhpinych volcano whereas lacustrine deposits adjusting to lavas are relatively aquiclude. Only some layers of coarse deposits are water-permeable. During fieldworks at the Vodopadny Brook we repeatedly observed ground water outlets from the upper boundary of alevropelite tuff layer; this boundary has been traced at great distance at the head of the brook (fig. 12).

### Tectonical fractures

On June 3, 2007, the breakaway of the main block of the landslide occurred along the fracture located between a hill folded by lacustrine deposits and the rim of the Uzon-Geyzernaya depression (see fig. 12). The fracture was formed quite long ago: it is represented on aerophotos made in 1973. We inspected it in 1974. In that time it looked very fresh: it had sink craters testifying to recent movements and the fracture opening. Later, the fracture edges considerably smoothed out and craters were burried. On photos of 1984 and 1989, the fracture looks as a straight-line ditch smoothed by erosion. Possibly, formation of this fracture was related to processes generating the landslide described since the mountain slipped in 2007 was isolated by fraction from remaining, more stable part of the slope as early as 35 years ago. But tectonic fractions at steep slopes not always result in landslide processes. For example, the slopes above Upper-Geyzernaya steam jet group in the upper reaches of the Geyzernaya River are cut by numerous large fractures. Such situation is saved in this place more than one ten years, but slumping of slopes does not happen.

### Regional distortion of the ground surface

Recently, more data on considerable vertical shifts in volcanic regions is obtained. This data is gained by the satellite interferometry. The most impressive data is obtained for large calderas, in particular, for Yellowstone caldera. The similar analysis has recently been carried out for Uzon caldera (Uzon-Geyzernaya depression) too. The shifts in 1999–2004 were analyzed. It was found that in 2000–2003 the large area in eastern part of the Uzon-Geyzernaya depression underwent elevation (fig. 13). At the same time, in 1999–2000 and in 2003–2004 no elevation risings have been detected. The data gained show that regional distortions of the ground surface is an important factor, which can influence friable slopes and trigger the landslide processes.

Whether vertical shifts took place near eastern margin of the Uzon-Geyzernaya depression in 2007 or not, is un-

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 реальный фактор, который может влиять на ослабленные скло-

ны, способствовать развитию оползневых процессов.

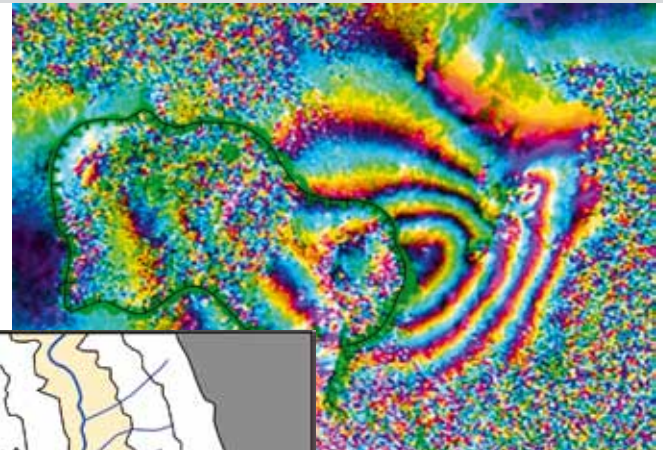
Были ли вертикальные подвижки в районе восточного борта Узон-Гейзерной депрессии в 2007 г., пока неизвестно. Не исключено, что данные спутниковой интерферометрии на район Узон-Гейзерной депрессии на время оползня (3 июня 2007 г.), будут получены в будущем.

**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

known, but such shifts could be quite possible. Perhaps, satellite interferometry data on the Uzon-Geyzernaya depression area for the landslide of June 3, 2007, will be gained in future.

**On the possibility of new landslides in the Valley of Geysers**

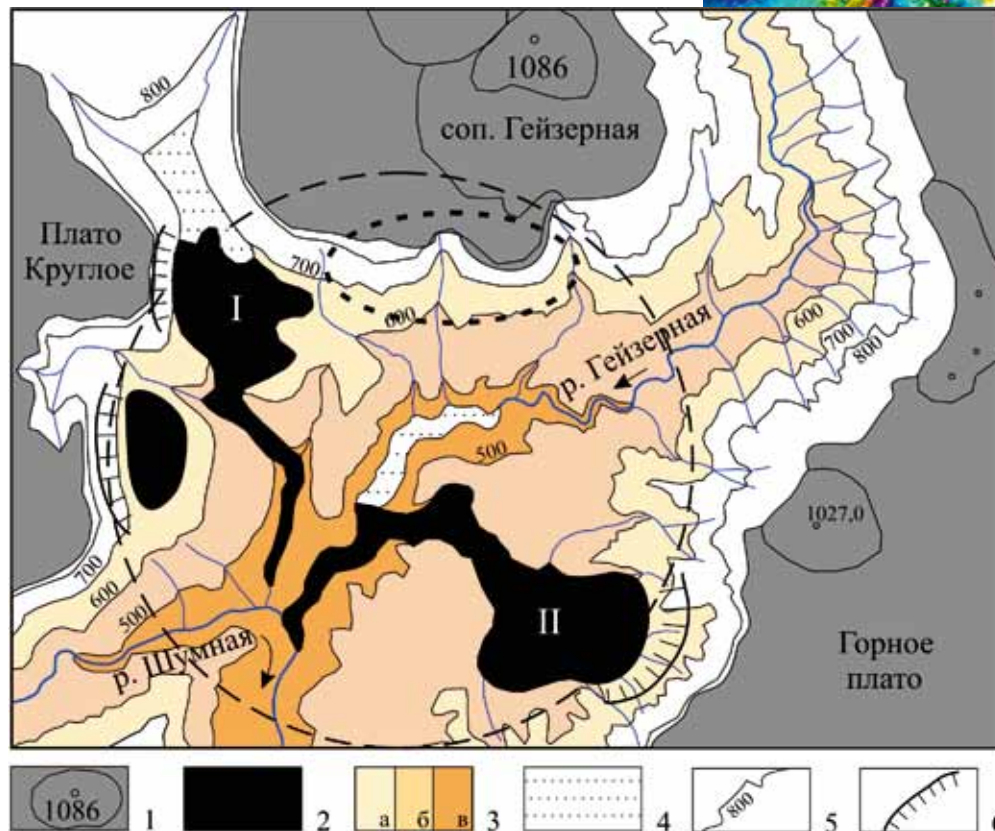


**Рис. 13. Интерферограмма на район Узон-Гейзерной депрессии (границы депрессии показаны линией с бергштрихами) (по Lundgren, Lu, 2006):**

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

**Fig. 13. An interferogram of the Uzon-Geyzernaya depression (the depression boundaries are shown by a line with bergstrichs) (from Lundgren, Lu, 2006):**

Concentric circles in the eastern part of the depression limit an uplifting zone. The colours from light to dark display the change of uplifting rate for 2,8 cm. Total uplifting in 2000–2003 was to ~15 cm



**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

**Fig. 14. The scheme of landslides formed in the lower reaches of Sestrenka and Geyzernaya rivers:**

(1) high plateaus and extrusions forming sides of the most dissected area, (2) landslides at Sestrenka K. (I) and Geyzernaya R. (II), (3) sites with incision depth: (3a) 200–300 m, (3b) 300–400 m, (3c) 400–500 m, (4) lakes (recent one on Geyzernaya River and Holocene in age on Sestrenka River), (5) isolines, (6) break walls of landslides. The dashed circle marks the place of maximal cut of rivers into sequence filling Uzon-Geyzernaya depression, the dashed oval shows possible place of future landslides

As shown above, there is a set of factors favourable for the formation of the landslide that occurred in the Valley of Geysers. Earlier, landslides took place here too. For instance, a landslide occurred in early Holocene at the eastern slope of the Krugloye (Round) Plateau, which dammed up the Sestrenka (Sister) River and formed the lake of about the

same size as the lake formed in 2007 at the Geyzernaya River (fig. 14). Analyzing the present situation in the Valley of Geysers, we may conclude that the largest landslides are formed here in the lower course of Geyzernaya and Sestrenka rivers, where the river valleys have the greatest depth and slope steepness. In Figure this site is contoured by a circle dotted line. Whether the new landslides may occur at this site? Undoubtedly, they may, but the question is when and where they will occur?

Today the greatest landslide hazard, in our point of view, is related to the southern slopes of Mt. Geyzernaya (contoured by dashed oval, fig. 14). It is the place where we should now conduct complex studies to forecast the landslide processes.

Was it possible to forecast the landslide of June 3, 2007 in the Valley of Geysers, and is it possible to forecast the landslides in this region in future? In our opinion, it was impossible to forecast exactly the place of the landslide on June 3, 2007, and, especially, the time of its forming and its size. The development of landslide processes can be due to many factors, whose role is not always clear. It is possible to say the same about future landslides in the region. Even if we can roughly contour out the place, where a large landslide may occur in future (which was made above), today it's impossible to say when it will happen. We can only approximately estimate its size. The only conclusion is absolutely true: landslide hazard is quite possible in this area, and to avoid catastrophes in future it must be studied.

### CONSEQUENCES OF THE LANDSLIDE THAT OCCURRED IN THE VALLEY OF GEYSERS

The geologic catastrophe that occurred on June 3, 2007 essentially changed the appearance of the Valley of Geysers. All the springs along the Vodopadny Brook were buried by the deposits of a huge mud-and-rock avalanche (see photo). Average thickness of these deposits is of 26 m, whereas the height of springs above the brook level was not more than 5 m). The most part of thermal manifestations at the Geyzernaya River is buried or underwatered (fig. 15).

Three areas of the Geyzernoye thermal field (I, II and III) and, partly, the fourth area (IV) appeared completely buried with mud-and-rock deposits. The new-formed barrier lake flooded

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?

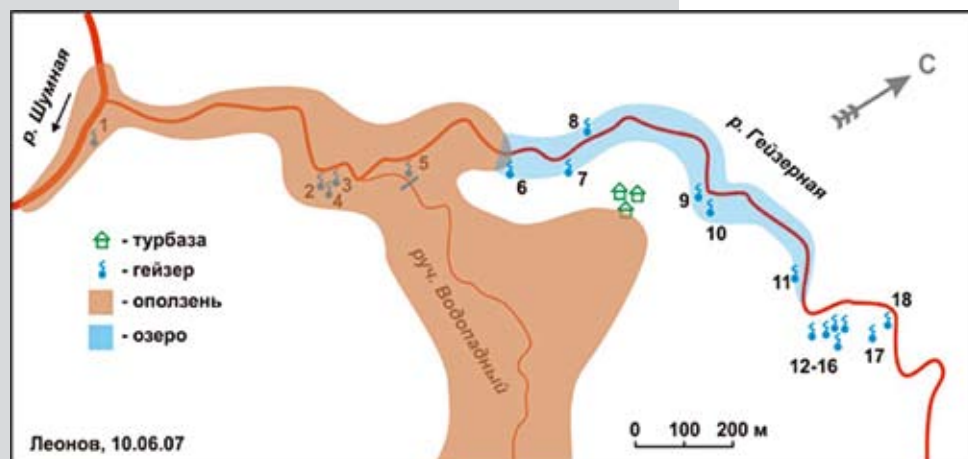
Наибольшую оползневую опасность сегодня, с нашей точки зрения, имеют южные склоны сопки Гейзерной (обозначены пунктирным овалом, см. рис. 14). Именно на них сегодня необходимо проводить комплекс исследований, направленных на прогноз развития оползневых процессов.

Можно ли было предсказать оползень 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров и можно ли предсказать будущие оползни в этом районе? По нашему мнению, спрогнозировать 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, ПРОИЗОШЕДШЕГО В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ

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



**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

**Fig. 15. The scheme of the lower part of the landslide of June 3, 2007, and barrier lake. Geysers:**

(1) First, (2) Triple, (3) Sugary, (4) Neighbour, (5) Near-Waterfall, (6) Rocky, (7) Cone, (8) – Large Oven, (9) Small, (10) Large, (11) Crack, (12–16) Stained-glass Window (Grotto, New Fountain, Fountain, Double, Inconstant), (17) Giant, (18) Pearl

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*, *гейзер 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*, *Буратино*, *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 108) и гейзер *Большой* (1 сентября 2007 г.) (фото 109).

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

thermal manifestations of site IV uncovered with avalanche and almost all the springs and geysers at area V, and thermal manifestations of area VI located near the Geyzernaya River (see fig. 5 in above sections). Thus, the large geysers described by T. I. Ustinova, *Pervenets (First)*, *Troynoy (Triple)*, *Sakharnyi (Sugary)*, *Sosed (Neighbour)*, *Geyzer u Vodopada (Near-Waterfall)* and small geysers at the valley of Vodopadny Brook (namely, *Malyutka*, *Teremok*, *Ploskii*, *Vorota v Geyzernuyu*), where covered by deposits of mud-and-rock avalanche.

The large geysers also marked out by T. I. Ustinova (*Skalisty (Rocky)*, *Conus (Cone)*, *Bolshaya Pechka (Large Oven)*, *Bolshoy (Large)*, *Malyi (Small)*, *Shchel (Crack)* and springs *Kamenka (Small Stones)*, *Malaya Pechka (Little Oven)*, *Malakhitovy Grot (Malachite Grotto)*, as well as the small geysers described later (*Nedostupny (Inaccessible)*, *Buratino*, *Peshcherny (Cave)*, *Gnome*, *Karlikovy Geizery (Diminutive Geysers)*, or *B. I. Piyp wall*) were underwatered.

The *Small Geyser* and *Little Oven spring* at first were flooded by a 25-meter water layer, and *Large Geyser* and *Malachite Grotto* – about 10 m.

After the break of a dam on June 7, 2007, the water level in the lake dropped by approximately 9 meters. In the next months the level of the lake continued to drop slowly, due to further wash-out of the dam and reduce of thawed water inflow, and reached 424 m.a.s.l. On the contrary, the water temperature in the lake gradually increased (from 12.8 °C in June up to 23 °C in August). Gradually reducing water level in the lake allowed the boiling spring of *Malakhitovy Grot* (July 23, 2007) and the *Bolshoi Geyser* (September 1, 2007) to emerge from the water and start operating again (Photo 108 and 109, respectively).



© Злотников В. А. / Zlotnikov V. A.

108. Извержение гейзера Малахитовый Грот. 23 июля 2007 г.

108. Eruption of the Malachite Grotto geyser, July 23, 2007



© Дрознин В. А. / Drozhnin V. A.

109. Извержение гейзера Большого. 12 сентября 2007 г.

109. Eruption of the Large geyser, September 12, 2007

When the water level in the lake was still approximately 2 meters higher than that of the bath of the Bolshoi Geyser, the activity of this geyser manifested itself in divergent circles on the surface, and gas bubbling. The temperature measurements indicated thermal convection in the geyser bath. When the water level in the lake reached the edges of the bath (but was 10–15 cm higher than the minimum point of drain) the geyser began to work. Recently, water level in the lake has become practically stable, but periodically it increases with precipitation. At the same time the period of geyser eruptions increases from 1.5 to 2.5 h. The character of eruption for this geyser has changed: eruptions have become less powerful and similar to emission of huge steam bubbles. When eruption stops, the water level in the bath (full before the eruption) drops sharply, almost down to the bottom, and the bath starts to fill by lake water.

The *Small Geyser*, judging by divergent circles on the lake surface (see photo 110), is now operating as a spring. By the analogy with the Bolshoi Geyser, it is possible to assume that manifestations on the lake surface are not only the result of gas discharge, but also the evidence of the heat convection in the upper part the geyser feeding channel. The assumption about saving its «geyser» activity is doubtful, because piezometric level of this geyser was formerly estimated as several meters, and today water layer above it is about 14 meters. The Small Geyser was the most productive geyser of the Valley of Geysers; it erupted 8 t of water every 40 min, that exceeded even the productivity of the Giant Geyser (20 t every 6 hours). The rather high frequency of eruptions of

ски повышается при выпадении осадков. При этом период извержений 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 110), 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 подводящего 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 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 типа «парящий грунт» с водами подпрудного озера. В результате такого взаимодействия образу-



© Злотников В. А. / Zlotnikov V. A.

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

**110. The Small Geyser gives the evidence of life from 14 m depth, July 16, 2007.**

ются новые, кратковременно живущие источники (фото 111). Самый большой прибрежный источник (Двухпроводной) образовался вне видимой связи с

the Small Geyser allowed us to see this impressive phenomenon during every helicopter excursion.

The *Crack Geyser* was flooded with barrier lake water later than the others, just before the break-through of the dam, and was underwatered less than a day. When the level of the lake dropped, it began operating again. At first, 5 short-period (15–20 min) eruptions with preliminary outflow occurred, and then it began to erupt in its former mode with period of 33–34 min without any preliminary outflow.

The completely flooded *boiling spring Malachite Grotto*, when the water level was still higher than the edges of its bath, began to work in the geyser mode with the eruption period of 10–20 min. Then, when its bath completely emerged from the lake water, the geyser renewed its activity again as a boiling pulsating spring. Of course, it is hard to recognize the spring now, since the bottom part of its edifice is covered by detrital deposits.

The *First (Pervenets) Geyser* was buried by the landslide, but, judging by the photos made by the pilots of Kamchatka Airlines, it remained active. The blockage has changed the



© Злотников В. А. / Zlotnikov V. A.

**111. Новый термальный источник вблизи уреза воды. 17 июля 2007 г.**

**111. There is a new thermal spring near the brink. July 17, 2007**



© Дрознин В. А. / Droznin V. A.

112. Извержение гейзера Великан. На переднем плане запрудное озеро. 15 сентября 2007 г.

112. Eruption of the Velikan geysir. The barrier lake is in the foreground. September 15, 2007

bed of the Shumnaya River and geyser has appeared to be in an island. Then, partial wash-out of the dam choked the geyser again. But, as appeared, it was not the end. The crater was gradually formed with an acting boiling spring at the bottom. The discharge of the spring into the Shumnaya River was first indicated only by the wet ground, but gradually it became visible. The activity of a thermal ground on the right side of the Shumnaya River, opposite the First Geyser, has increased.

The observed interaction of thermal manifestations such as «steaming ground» with waters of the barrier lake is very interesting to research. As a result of such interaction new short-living springs (see photo 111) are created. The largest coastal spring (Two-wire) was formed without any visible relation with thermal manifestations above the Cone Geyser. Formerly, steep turf-covered slope was observed in this place.

Only geysers and springs of the Central area (VII) and, naturally, all thermal manifestations located in the upper part

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 гейзеров после прошедшего



© Злотников В. А. / Zlotnikov V. A.

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

113. The new channel of the Geysernaya River, September 2, 2007

обрушения-оползня остался без изменений (фото 112).

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 неявно связанных озер.

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 впадения реки в озеро стремительно, буквально на глазах, формируются аккумулятивные тела типа устьевых баров и кос (фото 113).

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 сфор-

of the Geysernaya River valley have avoided any influence of the catastrophe. Among these are the following: *Fountains Thermal Site (Vitrage)*, the most famous in the Valley of Geysers, and the large geysers described by T. I. Ustinova, namely, *Geyser-in-Oven-lower (Small Grotto)*, *Bath*, *Fountain*, *New Fountain*, *Grotto*, *Double*, *Inconstant*, *Giant*, *Pearl*, *Eight-shaped*, as well as *geysers Averievskii*, *Steamy*, *Lower Crack*, *Fissured*, *Horizontal*, *Pink Cone*, *Seething*, *Uppermost*, and *Upper-in-channel*. Their activity mode has not changed after the landslide (photo 112).

Besides the observation of geyser behaviour and hydrothermal activity as a whole, the monitoring of gradual restoring of the Vodopadny Brook runoff disturbed by the events of June 3, 2007 is undoubtedly of great interest for scientists. Now the surface runoff of this brook is already represented as a chain of implicitly related lakes.

The study of the recent sedimentation in the Valley of Geysers radically changed after the barrier lake formation deserves the special attention. All detrital material moved away formerly by Geysernaya River is accumulated now in the barrier lake. In a place of inflow of the river into the lake accumulative bodies, such as delta sand-bars and spits, are formed rapidly, literally before our very eyes (see photo 113). The lake is intensively fulfilled with deposit material, the lake

volume and area are reduced. If the water level of the lake will not drop essentially, alluvial accumulative plain will be formed on its place with time. The question is how soon it will happen and how it will effect the geothermal system of the Valley of Geysers.

Thus, as we can see, due to occurred geological catastrophe the nature gives us a unique chance to observe and study rather a wide range of recent geological processes.

мируется аккумулятивная аллювиальная равнина. Вопрос лишь в том, насколько быстро это случится и каким 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*

## *On the studies and preservation of geysers as a unique natural phenomenon*

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 каким-либо вмешательством 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,

To our viewpoint, the necessity of further investigation of geysers, in spite of all the already obtained results, is obvious. One of the major methods for the studies of geysers activity is systematic monitoring of their regime. Observation will be useless or, in any case, not effective, if natural state of geysers can be changed due to any human factor. That is why it is important to preserve both geysers themselves and the whole environmental complex of the zone of their occurrence. It is also clear, that organization of geyser preservation should take into account interests of tourists whose number will hardly reduce with time. In other words, we need to find a reasonable compromise when solving the environmental problems of the Valley of Geysers, which would guarantee the undamaged state of geysers, as well as their studies and active tourism.

Among the problems concerning the studies of the Valley of Geysers, we consider the most important continuation of systematic observations of the regime of major geysers, as well as hydrothermal activity in general. Based on the observation data and measurements of individual geysers' parameters, we can determine peculiarities of operation mechanism of every large geyser. This, in its turn, will allow to predict geyser behavior, in particular, absolute time and duration of the eruption. Knowledge of exact time of geyser operation will provide an opportunity for all the visitors to see the most exciting and effective eruptions.

After the giant rockslide of June 3, 2007, that radically changed the landscape and surface manifestations of hydrothermal activity in the valley of the Geysernaya River, the systematic study of the discharge of individual geysers must be supplemented by overall research of the consequences of this event and other allied phenomena bringing potential danger. In particular, it is necessary to observe the situation on the slopes in order to prevent new debris fall, for the state of the dam in the Geysernaya River bed below the Vodopadny Brook, for the level of the lake before the dam and the rate of hard sediment accumulation, which can cork up the channels of geysers springs submerged by the lake.

Further studies are necessary for new mineral formations, sediments from thermal waters and geysers. Here also refer the examination of blue-green algae participating in the formation of geysers constructions. There is still much to learn about the activity of lithotrophic thermophilic bacteria also found at the thermal fields of the Valley

of Geysers. Separate branch of scientific researches is related to the study of etalon biogeocenoses and plant ecology under the specific conditions of thermal manifestations and thermal fields.

It should be stressed that carrying out of almost all the named scientific surveys is possible exclusively in the preserved territory. First of all, this refers to the monitoring of basic parameters of the Geysernaya hydrothermal system and their variations in natural conditions, based on the regime of surface thermal manifestations, including that of geysers. In other cases, it is possible to study hydrothermal systems in artificial conditions, since, sooner or later, they become the objects of industrial usage, providing the operation of geothermal electric power plants and heat supply complexes with their hot water and steam resources.

The task of preserving the natural complex of the Valley of Geysers includes the control over observance of regulations for safe tourists' visits. For example, dangerous might be the sites of evolution of bubbling mud pots, where the process of hydrothermal alteration (softening) of rocks is constantly going on. As a result, apparently solid heated grounds might collapse at pressure. One should also beware of landslip and scree from the steep slopes of the Geysernaya river valley, which become especially frequent in the period of cyclonic rainfalls.

Located within the territory of the Kronotsky State Reserve, the Valley of Geysers was automatically referred to the category of the secured objects. Nowadays, it is included into the Semiatichkiskoye Forestry, which, in its turn, refers to the areas of special scientific value with limited attendance and medium security regime. The latter is of vital importance for the Valley of Geysers, since a great number of nature amateurs strive for visiting this area. Unfortunately, uncontrolled visits of tourists essentially impact local environment and geyser activity. For instance, for the period of «free» tourism (1967–1975), unreasonable new pathways and observation grounds were settled, which turned into deep earth trenches due to erosion of the clayey shield. Geysers themselves were dramatically damaged. Geysers were removed from many of them. Mostly harmed were geysers Velikan, Sakharnyi, Zhemchuzhnyi and Troinoi. How sorrowful is that the geysers taken, which used to be a magnificent ornament in their original environment, are now, most probably, covered by dust in some forgotten corner of somebody's apartment.

Attempts were undertaken even to change the regime of some geysers, for which people were throwing stones into the geyser vent thus reducing its diameter, or tried to lower the water level in the bath making new drainage-trenches in its walls. It was quite a surprise afterwards to read in different publications the enthusiastic reviews about easy changeability of regime of geysers. In fact, our nowadays' knowledge about geysers' regime and mechanisms of their operation does confirm the possibility of artificial change of the regime of some geysers, even without any tremendous efforts. The question is whether we need to do that.

To our viewpoint, any human meddling in geyser

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 биogeоценозов 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 Семьячкское 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 площад-

ки, 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 114). 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.

С удовлетворением можно отметить, что в настоящее время много 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.



*114. И в суровые зимние дни кипят фонтаны гейзеров*

**114. Geyser fountains are still boiling even in severe winter days**

behavior is inadmissible. As mentioned above, geysers are quite vulnerable and their life depends upon the influence of many factors. Geysers are born, live for some time and then they die. The Geysers are magnificent at every stage of their life (photo 114). Let us not affect their natural evolution by our careless interventions. Let the Nature itself take care of them. And then, both present generation of visitors of the Valley of Geysers, and those who will come after them, will have a chance to watch the geysers in all their beauty and power of boiling fountains, mystery of operation, uniqueness and excitement of their eruptions.

We are pleased to note that, at present, great works have been carried out to provide the security of geysers and to create the conditions for tourists' visits to the Valley of Geysers. Planked pathways and observation grounds have been settled, as well as a helipad and even a small hostel with sanitary equipment. In future, especially in case of mass tourism, it is important to create the base for its maintenance somewhere outside the Valley of Geysers. We can also hope for the preservation and improving the conditions for scientific assistants of the Reserve and other institutions studying the natural complex of the Valley of Geysers.

## VOCABULARY OF GEOLOGICAL TERMS\*

**Active volcano** – volcano whose eruptions take place at present or occurred during the historical time, as well as volcano manifesting constant fumarole activity.

**Andesite** – effusive rock of medium composition consisting mostly of plagioclase and one or several colored minerals (amphibole, pyroxene, biotite).

**Basalt** – effusive rock of basic composition with not high (up to 52 %) silica content.

**Caldera** – ring-shaped depression with steep sides and flat bottom formed in the result of the collapse of a volcano top and, sometimes of its vicinities in the course of intensive activity of the volcano.

**Cinder** – lava fragments of various sizes – one of the major erupted products of explosive volcanic eruptions. Cinder can be also formed on the surface of lava flows.

**Crater** – cavity in the form of a bowl or a funnel, located at the top of a cone-shaped mount. Craters are formed in the result of explosive volcanic eruptions.

**Dacite** – light-colored effusive rock with high (up to 70 %) silica content.

**Dyke** – plate-like, vertical or steeply-dipping body having great stretching and dipping extension at rather small thickness. Dykes are formed more often by filling of the fissures by magmatic melt.

**Explosion** – phenomenon of volcanic eruption, usually accompanied by ejection of great amounts of pyroclastic material and gases.

**Extrusion** – squeezing or expression of mostly viscous magmatic melt onto the surface, in the result of which dome-like (extrusive) bodies of usually isometric form are formed.

**Filtration properties of rocks** – ability of rocks to let the liquid pass through porous media (capillary pores, fissures and other hollows) under the effect of gravity force and capillary forces.

**Fumarole** – discharge of hot volcanic gas and steam in the form of jets or quietly steaming masses from fissures or channels over the volcano surface, or from non-cooled lava flows. By their gas composition, we distinguish sulphury fumaroles – solfataras and carbonic – mofettes.

**Holocene** – post-glacial period or post-ice epoch. Beginning (lower margin) – 10 thousand years ago.

**Hydrothermal activity** – combined manifestation of the processes of mineral-formation and transport of heat and substance under the conditions of thermal anomalies within the upper parts of the Earth's crust. Closely connected to magmatism. Particular forms of hydrothermal activity are recent hydrothermal systems and post-volcanic activity at active volcanoes.

**Ignimbrite** – volcanic rock of acidic composition (enriched in silica), formed in the result of sintering of hot half-liquid debris of erupted rocks, oriented in the same direction.

**Lava** – magmatic melt reaching the original ground during volcanic eruptions. Gradually losing steam and gas (volatiles) the melt forms lava flows and sheets of various thickness and extension.

**Magma** – flaming-liquid melt originating in the deeper horizons of the Earth. In contrast to lava, magma is much more saturated with volatiles (steam and gas).

**Magmatic chamber** – magma reservoir located in the shallow parts of the lithosphere (to the depth of a few thousand meters).

**Piezometric (ascending) level** – level to which pressurized (artesian) waters ascend or may ascend in the drill well, draw-well or up to the original ground.

**Pleistocene** – period of geological history including most part of Quaternary (modern) period of the Earth's evolution ex-

## 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** – послеледниковый период или послеледниковая 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.

**Дациит** – 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 раскален-

ном 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** – расщелина, 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 туфолавою называют лавокластические 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.

cept for Holocene, and lasting for about 1 mln years.

**Pumice** – foamed glass (or stone foam) of melts (lavas) of acidic and medium compositions. Basalt foam – texture of thin hair-like glass threads.

**Pyroclastics, or pyroclastic material** – various in size and shape debris incandescently thrown out in the course of explosive volcanic eruptions. Here belong cinders, bombs, lapilli, pumice, ash.

**Rift** – crevasses, open fissures, along which mostly basaltic lavas outflow takes place.

**Rock** – natural assemblage of minerals having appeared in the result of physical-chemical and geological processes. Rocks can be dense (granite, diorite, liparite, basalt, etc.) or loose (sand, loess, clay, grail).

**Stratovolcano** – volcanic cone composed of alternating loose or explosive (cinder, send, ash, etc.) products and lava flows arriving from the volcano crater. The most characteristic type of volcanoes.

**Tuff** – rock of volcanic origin, consisting of detrital, mostly unsorted, material consolidated and hardened afterwards.

**Tuff-lava** – intermediate rock between tuff and lava. Often used to define lava-clastic rocks of unclear origin.

**Volcanic-tectonic depression** – vast lowering of the relief, ring-shaped or oval, formed in the result of great lava flows out of magmatic chambers and sinking at the fault sites. Diameter of volcanic depressions ranges from 12–15 to 100 km. Apparent amplitude of the lowering makes 300–1 000 m.

**Volcano** – cone-shaped (or having some other form) construction appearing in the result of the eruption of deeper magmatic melts onto the original ground. In the process of volcanic eruptions, cone-shaped mounts are mostly formed.

\*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.

\*When compiling the vocabulary of geological terms, the following references were used: Geological dictionary. V. 1, 2 / edit. A. N. Krishtofovitch. Moscow, 1955 (in Russian); *Vlodavets V. I.* Reference book on Volcanology. Moscow: Nauka, 1984 (in Russian).

## RECOMMENDED REFERENCE LIST

- Active volcanoes of Kamchatka // Moscow : Nauka, 1991. Vol. II. Pp. 94–141 (in Russian).
- Allen, E. T. and Day, A. L. Hot springs of Yellowstone National Park // Carnegie Inst., 1935.
- Barth, T. F. W. Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland. Carnegie Inst. Washington, Publ., 1950. 587 p.
- Karpov, G. A. In the caldera of a volcano // Moscow : Nauka, 1980 (in Russian).
- Karpov, G. A. Uzon – the protected land // Moscow : LOGATA, 1998. 64 pp.
- Keefe, W. R. The geologic story of Yellowstone National Park // Lincoln: University of Nebraska Press, 1972. 92 pp.
- Krasheninnikov, S. P. Description of the Kamchatka Land, created by Stepan Krasheninnikov, Professor of the academy of Sciences // Saint-Petersburg, 1786. Issue 2, vol. 2 (in Russian).
- Leonov, V. L. Structural conditions of high-temperature hydrotherms' localization // Moscow : Nauka, 1989 (in Russian).
- Lodis, F. A., Semeonov, V. I. Kamchatka – the land of cure // Petropavlovsk-Kamchatsky : Far-Eastern Publishing House, Kamchatka Division, 1993. 152 pp. (in Russian).
- Naboko, S. I. Kamchatka geysers // Papers of the Volcanology Laboratory, issue 8, publ. AS USSR, 1954. Pp. 126–209 (in Russian).
- Naumenko, A. T., Lobkov, E. G., Nikanorov, A. P. Kronotsky Reserve // Moscow : Agropromizdat, 1986 (in Russian).
- Pauzhetka hot waters in Kamchatka // editor B. I. Piip // Moscow : Nauka, 1965. 208 pp. (in Russian).
- Piip, B. I. Thermal springs of Kamchatka // M. : Publ. AS USSR, 1937 (in Russian).
- Raik, A. A. On the regime of Kamchatka geysers // Exploration of Far-East nature. Tallinn, 1963. Pp. 39–90 (in Russian).
- Semeonov, V. I. In the land of volcanoes and geysers // Moscow : Physical Culture and Sports, 1973 (in Russian).
- Sugrobova, N. G. Some patterns of Kamchatka geysers regime // Volcanology and Seismology. № 5. 1985. Pp. 35–48 (in Russian).
- Sugrobova, N. G., Sugrobov, V. M. Changes of the regime of thermal manifestations of the Valley of Geysers under the effect of the Elza cyclon // Questions of the Kamchatka Geography. Petropavlovsk-Kamchatsky, 1985. Pp. 88–94 (in Russian). Issue 8.
- Ustinova, T. I. Kamchatka geysers // Moscow : Geographizdat, 1955 (in Russian).
- Vinogradov, V. N. On the regime of Kamchatka geysers // Questions on Kamchatka Geography, Petropavlovsk-Kamchatsky, 1964. pp. 70–81 (in Russian). Issue 2.
- Vlodavets, V. I. Volcanoes of the Earth // Moscow : Nauka, 1973 (in Russian).
- Zhilin, M. Ya. Pathway to geysers // Far-East travels and adventures. Khabarovsk : Publishing House, 1989. Pp. 162–187 (in Russian). Issue 12.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**THE PUBLICATIONS DEVOTED  
TO THE ROCKSLIDE OF JUNE 3, 2007,  
IN GEYSER VALLEY, KAMCHATKA**

*Dvigalo, V. N., Melekestsev, I. V., Svirid, I. Yu.* Natural catastrophe and large allochthon in the basin of Geysernaya River (Kamchatka, Russia) // RAS Repts., 2008.

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

*Droznin, V. A., Seliverstov, N. I.* The Geysers Valley after geological catastrophe of June 3, 2007 // Bull. KRAUNC, geoscience ser., 2007. No. 2. Pp. 7–8.

*Gordeev, E. I., Pinegina, T. K., Droznin, V. A., Dvigalo, V. N., Melekestsev, I. V.* June 3, 2007 natural disaster in the Valley of Geysers in Kamchatka // EOS Trans. AGU, 88(52), 2007. Fall Meet. Suppl., Abstract T51A-0297.

*Leonov, V. L., Leonov, A. V.* Geysers Valley: what's happened in fact. // [http://www.kscnet.ru/ivs/expeditions/2007/Geyser\\_Valley-06-2007/Geyser\\_Valley-06.htm](http://www.kscnet.ru/ivs/expeditions/2007/Geyser_Valley-06-2007/Geyser_Valley-06.htm)

*Nechaev, A.* Kamchatka's Geysers: death and rebirth // Around the World. 2007. No. 10. Pp. 225–234.

*Pinegina T. K., Delemen I. F., Droznin V. A., Kalacheva E. G., Chirkov S. A., Melekestsev I. V., Dvigalo V. N., Leonov V. L., Seliverstov N. I.* The Kamchatka's Geysers Valley after the catastrophe of June 3, 2007 // Bull. Far-East Branch of RAS. 2008. No. 1. Pp. 33–44.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение (В. М. Сугробов) .....	
Краткая история открытия и изучения Долины гейзеров (В. М. Сугробов) .....	
Краткий физико-географический очерк района и общая характеристика поверхностных термопроявлений (В. Л. Леонов, В. М. Сугробов) .....	
Поверхностные термопроявления .....	
Термальные поля и горячие источники Семячикского района .....	
Общая характеристика Долины гейзеров (В. М. Сугробов) .....	
Долина Смерти и причины гибели животных в верховьях р. Гейзерной (Г. А. Карпов) .....	
Климат, растительный и животный мир .....	
Геологическое строение и история Долины гейзеров (В. Л. Леонов) .....	
Гидрогеология и модель Гейзерной гидротермальной системы (В. М. Сугробов, Н. Г. Сугрובה) .....	
Гейзеры и другие термопроявления долины р. Гейзерной (Н. Г. Сугрובה, В. М. Сугробов) .....	
Участок Приустьевой (I) .....	
Участок Тройной (II) .....	
Участок термопроявлений руч. Водопадного (III) .....	
Участок Скалистый (IV) .....	
Участок Лагерный (V) .....	
Участок Щелевой (VI) .....	
Участок Центральный (VII) .....	
Участок Верхний (VIII) .....	
Участок Верхне-Гейзерных источников (IX) .....	
Отложения термальных вод – гейзериты и термофильные водоросли (Г. А. Карпов) .....	
Гейзериты .....	
Термофильные водоросли .....	
Связь деятельности гейзеров с гидротермальной системой, механизм их действия (В. М. Сугробов) .....	
Режим гейзеров. Изменение гидротермальной активности. Продолжительность жизни гейзеров (Н. Г. Сугрובה, В. М. Сугробов) .....	
Режим гейзеров .....	
Изменение поверхностной гидротермальной активности .....	
Продолжительность жизни гейзеров .....	
Условия образования и последствия оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров (В. А. Дроздин, В. Л. Леонов) .....	
Оползень и условия его образования .....	
Последствия оползня, произошедшего в Долине гейзеров .....	
Вопросы изучения и охраны гейзеров – уникального явления природы (В. М. Сугробов) .....	
Словарь геологических терминов .....	
Рекомендуемая литература .....	
Публикации о катастрофе, произошедшей 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров на Камчатке .....	

**CONTENTS**

Introduction (V. M. Sugrobov).....	
Brief history of discovery and studies of the Valley of Geysers (V. M. Sugrobov).....	
Brief physical-geographical outline of the region and general characteristics of surface thermal manifestations (V. L. Leonov, V. M. Sugrobov).....	
Surface thermal manifestations.....	
Thermal fields and hot springs of the Semiachinsky area.....	
General characteristics of the Valley of Geysers (V. M. Sugrobov).....	
The Death Valley and the causes of animals' death at the upper course of the Geysernaya River (G. A. Karpov).....	
Climate, flora and fauna.....	
Geological structure and history of the Valley of Geysers (V. L. Leonov).....	
Hydrogeology and the model for the geysernaya hydrothermal system (N. G. Sugrobova, V. M. Sugrobov).....	
Geysers and others thermal manifestations valleys of the river Geysernaya (N. G. Sugrobova, V. M. Sugrobov).....	
Site I, Priustjevoi (Near-river mouth).....	
Site II, Troynoy (Triple).....	
Site III, Thermal manifestations of the Vodopadny (Waterfall) creek.....	
Site IV, Skalisty (Rocky).....	
Site V, Lagerny (Camp).....	
Site VI, Shchelevoy (Chap).....	
Site VII, Centralnyi (Central).....	
Site VIII, Verkhniy (Uppermost).....	
Site IX, the Field of Verkhne-Geysernye (Upper-Geyser) Springs.....	
Sediments of thermal waters – geyserites and thermophilic algae (G. A. Karpov).....	
Geyserites.....	
Thermophilic algae.....	
Connection of activity of geysers with hydrothermal system. The mechanism action of geysers (V.M. Sugrobov).....	
Regime of geysers. Change of hydrothermal activity. Duration of a life of geysers (N. G. Sugrobova, V. M. Sugrobov).....	
Regime of geysers.....	
Change of surface hydrothermal activity.....	
Duration of a life of geysers.....	
Landslide in the geysers valley occurred on 3 June 2007: Conditions of formation and consequences (V. A. Droznin, V. L. Leonov).....	
Landslide: formation conditions.....	
Consequences of the landslide occurred in Geysers Valley.....	
On the studies and preservation of geysers as the unique natural phenomenon (V. M. Sugrobov).....	
Vocabulary of geological terms.....	
Recommended reference list.....	

Составитель Виктор Михайлович Сугробов

Жемчужина Камчатки – Долина гейзеров

Научно-популярный очерк, путеводитель

Редактор Е. Рыбаченко  
Корректор Ж. Максимова  
Оригинал-макет О. Федулова

Подписано в печать. Формат 60 x 84/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman», «Arial». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ №.

Издательство «Камчатпресс». 684017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а.

Отпечатано в ООО «Камчатпресс». 684017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а

