

Библиотека «Новой книги»
Сокровища земли Камчатской



О. Б. Селянгин

К ВУЛКАНАМ МУТНОВСКИЙ И ГОРЕЛЫЙ

Вулканологический и туристический путеводитель

O. B. Selyangin

TO THE MUTNOVSKY AND GORELY VOLCANOES

Volcanologic and traveller's guide



Petropavlovsk-Kamchatsky
Holdinovaja kompanija «Novaja kniga»
2009

Библиотека «Новой книги»
Сокровища земли Камчатской

О. Б. Селянгин

**К ВУЛКАНАМ
МУТНОВСКИЙ И ГОРЕЛЫЙ**

Вулканологический и туристический
путеводитель



Петропавловск-Камчатский
Холдинговая компания «Новая книга»
2009

ББК 26.8+26,89
С29

Селянгин О. Б.

К вулканам Мутновский и Горелый: Вулканологический и туристический путеводитель. — Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2009.— 108 с.

Описываются история развития и характер деятельности ближайших к г. Петропавловску активных вулканов южно-камчатской группы — Мутновского и Горелого, популярных объектов познавательного и спортивного туризма. Приводятся геологическая карта, схемы и описания экскурсионных маршрутов, позволяющих ознакомиться с наиболее яркими проявлениями вулканизма, связанных с ним структурообразования и газо-гидротермальной деятельности, с природой Мутновско-Гореловского района.

Издание адресуетя широкому кругу интересующихся вулканической геологией и природой Камчатки — краеведам, естествоиспытателям и туристам.

Selyangin O. B.

Wonderful world of Mutnovsky and Gorely volcanoes: Volcanologic and traveller's guide. — Petropavlovsk-Kamchatsky: Hold. komp. «Novaja kniga», 2009.— 108 p.

Development history and character of activity of the active volcanoes of south-Kamchatka group Mutnovsky and Gorely volcanoes which are the closest to the city of Petropavlovsk-Kamchatsky are described. They are popular objects of cognitive and sporting tourism. Geological map, schemes and descriptions of the excursion routes are given. They let us to acquaint with the brightest manifestations of volcanism, structure formation and gas-hydrothermal activity connected with it, with a nature of Mutnovsko-Gorelovsky region.

Edition is directed to the wide range of readers who has an interest in volcanic geology and nature of Kamchatka students of local lore, naturalists and tourists.

ISBN 978-5-87750-037-2

© О. Б. Селянгин, 2009
© Холдиноговая компания
«Новая книга», 2009

Введение

Среди самых ярких достопримечательностей огнедышащей земли Камчатки достойное место занимают два вулкана-соседа на юге полуострова — Мутновский и Горелый. Это ближайшие к областному центру действующие вулканы южнокамчатской группы, привлекательные как в отношении ландшафтно-видовой экзотики, так и с познавательной и научно-исследовательской точек зрения. Достаточная их доступность позволяет даже малоподготовленному путешественнику заглянуть в их «чрево», ощутить под ногами дыхание огненных глубин. Разнотипные по своему строению, предыстории и специфике поздних этапов развития, эти вулканы предоставляют туристу и естествоиспытателю возможность наблюдать разные стадии вулканического процесса. На более зрелом Мутновском вулкане ярко проявлена разнообразная по типам и последствиям пост- и межвулканическая газо-гидротермальная активность, перспективная и для практического использования. Горелый более «специализирован» для знакомства с вулканотектоникой (связанными с вулканизмом деформациями земной коры, отражающимися в рельефе) и с многообразными формами и продуктами собственно вулканической деятельности, особенно эффузивной (истечение лав).

В целом по разнообразию ландшафтов, форм и продуктов вулканической деятельности, сосредоточенных на сравнительно небольшой территории и достижимых автомобильными и пешими маршрутами, Мутновско-Гореловский район не имеет себе равных на Камчатке. Это одна из жемчужин ее рекреационного потенциала, прекрасный полигон для проведения экологических, геолого-вулканологических школ и студенческих практик. Район обладает также экономическим, производственным потенциалом. Главная его составляющая — Мутновское месторождение парогидротерм, на котором построена геотермальная электростанция (ГеоЭС) мощностью 50 мегаватт. Она уже сегодня способна покрывать четвертую часть энергетических потребностей Камчатки, и возможности месторождения еще не исчерпаны. С преодолением топливной дефицитности и удешевлением камчатской энергетики в связке с ГеоЭС может стать рентабельным каменнолитейное производство на местном сырье — от теплоизоляции и стойких к агрессивным средам изделий до высокотехнологичных составляющих современных композиционных материалов. Велики в районе запасы пемз — сырья для производства легких бетонов, очистных фильтрующих устройств, абразивов. Перспективно производство декоративных, отделочных материалов из местных игнимбритов, обсидианов, кремнекислых вулкано-

Introduction

Two neighboring volcanoes in south of the peninsula — Mutnovsky and Gorely — take a worth place among the most striking sights of fire-breathing land of Kamchatka. These are the closest to the regional centre active volcanoes of south-Kamchatka group which are attractive both from landscape-view exotic character, and cognitive and research points of view. Their accessibility let the traveller even with little preliminary training to look in their 'belly', to feel breathing of flame depths under the feet. These volcanoes which are different according to their structure, prehistory and specific character of late stages of development give tourist and naturalist the possibility to observe different stages of volcanic process. At the more mature Mutnovsky volcano post- and intervalcanic gas-and-hydrothermal activity various according to the types and consequences and perspective both for the practical use is brightly developed. Gorely volcano is more «specialized» for the acquaintance with volcanic tectonics (deformations of earth's crust connected with volcanism which reflect in relief) and with varied forms and products of volcanic activity proper, especially of effusive one (outflows of lavas).

As a whole according to the variety of landscapes, forms and products of volcanic activity concentrated at comparatively small territory and accessible car and foot routes Mutnovsky-and-Gorelovsky region has not equal in Kamchatka. This is one of the pearls of its recreation potential, good ground for conducting of the ecological, geological-volcanologic schools and student training. Region has also economic and productive potential. Mutnovskoe deposit of steam hydrothermae at which the geothermal electric power station (GeoES) with capacity of 50 megawatt is constructed is its basic component. At present time already it can cover one fourth part of needs for energy in Kamchatka, and potential of the deposit is not exhausted yet. Together with overcoming of fuel shortage and reduction of prices for energy of Kamchatka and geothermal electric power station stone quarry and foundry production on local raw material — from thermal insulation and products resistant to corrosive media to highly-technological components of modern composite materials — can be profitable. Reserves of pumices are large in the region which are raw materials for the production of light-weight concretes, cleaning filtering equipment, abrasives. Production of decorative, finishing materials made of local ignimbrites, obsidians, silicified volcanogenic-and-sedimentary rocks is perspective; recovery of silica, sulphur is possible. Drilling-out of high-temperature gas-conducting zones and zones of volcanoes which are close to focuses can give additional sources of energy and valuable raw material. Balneological properties of thermal springs of the region are insufficiently

генно-осадочных пород; возможна добыча кремнезема, серы. Разбуривание высокотемпературных газопроводящих и околоочаговых зон вулканов может дать дополнительные источники энергии и ценного сырья. Недостаточно изучены бальнеологические свойства горячих источников района, вполне пригодных, однако, для устройства базы отдыха, особенно экзотичного в сочетании с познавательным и спортивным зимним туризмом, с использованием снегоходной, горнолыжной и легкой воздушной техники.

Конечно, такое разностороннее использование возможностей района требует разумного его баланса с сохранением природы. Встроенные в ландшафт с должным бережением и вкусом, подобные предприятия могли бы стать вполне органичным цивилизационным контрапунктом ее суровой и нежной естественной красоте.

Живой мир этой сравнительно высокогорной, обильно-снежной и в основном безлесной территории довольно скуден, но тем более трогателен в своей первозданности. Вниз от голых скалистых вершин угасших и действующих вулканов здесь последовательно сменяются пояса горных тундр и кустарниковой, ольхово- и кедрово-стланиковой растительности, до березово-кустарниковых зарослей в долинах крупных рек. Прекрасна смена времен года, начиная с буйного цветения тундры, освобождающейся из под снега в июне-июле под гомон мелкого птичьего народа, до ягодно-грибного изобилия в августе и первых пург в сентябре. Из млекопитающих довольно распространенным жителем этих угодий является черношапочный сурок («тарбаган») — симпатичный норный зверек, семьи-колонии которого заселяют лавовый кекурник и склоны пемзовых холмов. Его популяция медленно восстанавливается после антропогенного прессинга 1970—1980 гг. К сожалению, и теперь не переваются «охотники» с инстинктом убийства всего, что движется. Реже можно поднять зайца, встретить мышкующих лису или горностаю, при большом везении — стадо снежных баранов, мигрирующих по скалистым участкам. Медведь в этих местах, удаленных от рыбных рек, также по преимуществу проходной.

В лучший для туризма и экспедиций сезон, с конца июля по сентябрь, вулканы Мутновский и Горелый обычно доступны для автомобильного транспорта повышенной проходимости. Расстояние до их ближайших окрестностей преодолевается за 3-4 часа пути. Дорога от Петропавловска (рис. 1) проходит по долине р. Паратунки — загородной курортной зоне, известной своими горячими источниками, лечебницами и базами отдыха, мимо Вилучинского вулкана и далее, за перевалом, по высокому вулканическому плато. С него открывается панорама горной страны с разрушенными древними вулканами и объектами нашего непосредственного интереса —

studied, though they are good enough for arrangement of tourist centres especially. This very region is especially exotic in combination with cognitive and sporting winter tourism using snow-tractor, mountain-skiing and light-weight air facilities.

Certainly, such all-round use of possibilities of the region requires its reasonable balance with reservation of nature. Built into landscape with due care and taste such enterprises could be quite organic civilized counterpoint to its severe and tender natural beauty.

Living world of this comparatively Alpine, abundantly-snowy and mainly treeless territory is rather poor, but all the more affecting in its primordial essence. Downwards of bald rocky summits of decadent and active volcanoes zones of mountain tundras and bush, alder- and cedar-creeping vegetation up to birch-bushed brushwoods in large river-valleys change consecutively here. The change of seasons is beautiful, from the violent blossoming of tundra escaping from under the snow in June-July with hubbub of birds up to the berry and mushroom abundance in August and first snowstorms in September. As to the mammals, then black-cap marmot («tarbagan») is a rather spread inhabitant of these territories. It is nice burrow young of wild animal families-colonies of which settle down lava kekur and slopes of pumice hills. Its population is restored slowly after anthropogene pressing of 70-80 years of past century. Unfortunately, even now there is an abundance of "hunters" having instinct of killing everything that moves. Seldom it is possible to see hare, meet fox or ermine looking for the mice or flock of snow sheep (if luck smiles to you) migrating along rocky areas. In these places which are far from good rivers for fishing bear is also rare mainly.

In the best season for tourism and expeditions, from the end of July till September, Mutnovsky and Gorely volcanoes are usually accessible for motor transport of higher cross-country ability. Distance to their closest surroundings is overcome for 3—4 hour. Road from the city of Petropavlovsk-Kamchatsky (Fig. 1) passes along the Paratunka river valley — country resort zone well-known for its hot springs, clinics and tourist centers, by Vilyuchinsky volcano and further, beyond the pass along high volcanic plateau. From it a panorama of the mountain country with the destructed ancient volcanoes and objects of our immediate interest — Mutnovsky and Gorely volcanoes — is revealed. Plateau is formed by the products of immense eruption which had formed once an extensive basin (caldera) of Gorely volcano by baked pumice tufts, or ignimbrites. The main road from here leads to the Mutnovskaya Geothermal electric power station. Branch of the road to Mutnovsky volcano passes through caldera of Gorely volcano, beyond south-eastern edge of which a base camp for the excursions to both volcanoes is settled at the place of

вулканами Мутновским и Горелым. Плато сложено продуктами грандиозного извержения, некогда сформировавшего обширную впадину (кальдеру) вулкана Горелого — спекшимися пемзовыми туфами, или игнимбритами. Основная дорога отсюда идет к Мутновской ГеоЭС. Ответвление дороги к Мутновскому вулкану проходит через кальдеру Горелого, за юго-восточным краем которой, на месте старого лагеря геофизической партии, устраивается базовый лагерь для экскурсий на оба вулкана. От крайней точки возможного подъезда на автомобиле до этого места еще 1,5—2 км пешего подхода; для групп экологической ориентации здесь есть возможность приложения усилий по облагораживанию территории. Более удобное место лагеря — у домика полевого стационара Научно-исследовательского геотехнологического центра (НИГТЦ) ДВО РАН — может быть использовано при надлежащем согласовании в периоды, когда научные наблюдения не проводятся.

Несколько слов об основных правилах подготовки и проведения экскурсионных маршрутов. Вулкан Мутновский располагается на территории природного парка «Южно-Камчатский», предполагается включение в него и района вулкана Горелый. На посещение этих объектов следует получать разрешения в дирекции парка в г. Петропавловске-Камчатском, где туристов знакомят с правилами пребывания на охраняемой территории. По климатическим условиям Камчатки, с ее резко изменчивой погодой, каждому путешественнику — даже в теплое лето и при всего лишь одно-двухдневных выездах «выходного дня» — надо иметь теплую одежду, в том числе и на выход в конкретную экскурсию (куртку, свитер под ветровку в небольшом маршрутном рюкзаке). Подходящая обувь — ботинки на нескользящей и достаточно жесткой подошве. Максимальные уверенность и свободу передвижения по весьма разнообразным грунтам (сыпучие шлаки, размокающие пеплы и глины, мокрый снег, болотистые участки, ручьи и реки) дают резиновые сапоги. Следует избегать установки палаток на открытых ветру местах — лучше использовать закрытые с востока ложбины или поляны в кустарнике, для безопасности приюта в ночь шквалистого циклона. В горных условиях недопустимы экскурсии в одиночку, и, конечно, руководители групп должны иметь средства ориентирования на местности — карту, компас, еще лучше — современную спутниковую систему позиционирования GPS на случаи весьма обычных в районе туманов. Туристические группы должны иметь с собой запас топлива: всякие порубки на прилегающей к вулканам территории запрещены. Недопустимы также охота и проезды по покрытым растительностью участкам, вне проложенных дорог.

old camp for geophysical crew. It is 1.5—2 km of going on foot more from the extreme point of possible approach by car up to this site. For groups with ecological orientation there is a possibility here to make efforts on improving the territory. More convenient place for the camp — at the field stationary house belonging to Research Geotechnological Centre (RGC), Far East Branch of Russian Academy of Sciences can be used with proper agreement during the periods when scientific observations are not carried out.

Now, a few words about basic rules of preparation and conducting of the excursion routes. According to the climatic conditions of Kamchatka with its abruptly changeable weather each traveller — even in warm summer and with one- or two-day departures of «rest-day» — must have warm clothes, including clothes for the definite excursion (jacket, sweater in a small route rucksack). Suitable footwear is shoes with non-sliding and rather hard sole. Maximum confidence and freedom of moving along various rounds (loose cinders, ashes and clays getting soaked, wet snow, swamped areas, brooks and rivers) are gained with rubber boots. One should avoid putting the tents on the sites which are open for wind. It is better to use closed from the east hollows or glades in bushwoods for safe shelter at night of squally cyclone. Under mountain conditions excursions along are inadmissible and, of course, leaders of all groups must have means of getting one's bearings — map, compass, or much the better — current satellite system of positioning GPS in case of fogs which are usual in this very region. Tourist groups must have fuel reserve: any illegal cuttings on the territory adjacent to volcanoes are prohibited. Hunting and driving along the areas covered with vegetation, outside the built roads are also inadmissible.

ВУЛКАН МУТНОВСКИЙ
MUTNOVSKY VOLCANO



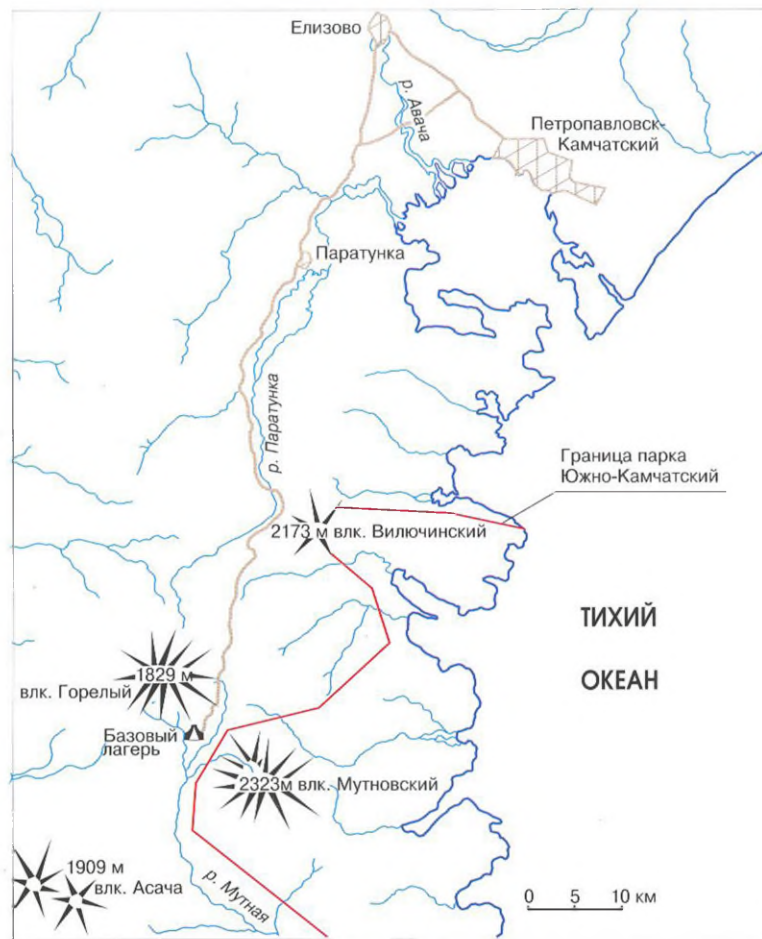


Рис. 1 Расположение вулканов Мутновский и Горелый и дорога к району экскурсий.
Fig. 1 Location of Mutnovsky and Gorely volcanoes and road to the excursion region.

Вулкан Мутновский расположен в 75 км от г. Петропавловска-Камчатского и в 20 км от берега Тихого океана, за цепью Берегового хребта. Это одно из самых величественных сооружений «огненного ожерелья» Камчатки. Живописное сочетание разнообразных форм его рельефа и fumarольно-сульфатарной* деятельности на фоне расщепленных скал, сверкающих ледников и водопадов делают вулкан Мутновский одним из красивейших памятников природы, объектом научно-познавательного и спортивного туризма.

Строение и история развития вулкана

По форме и геологическому строению вулкан представляет хребтообразный горный массив, состоящий из четырех усеченных небольшими вершинными кальдерами конусов-стратовулканов (Мутновский-1-4 и, соответственно, комплексы М на геологической карте и разрезах, рис. 2). Абсолютная высота его 2323 м, превышение над окружающей местностью от 1200 до 2000 м. Он начал свою деятельность в позднечетвертичное время, около 60-80 тыс. лет назад, и развивался по устойчиво повторявшейся схеме: рост конуса — образование провала на вершине (вершинной кальдеры или крупного кратера) — рост внутрикальдерной постройки и полное затухание конуса, после чего происходило смещение магмовыводящего канала, и цикл повторялся на новом месте. Три ранних конуса Мутновского

сложены породами ряда базальт — андезит — риодацит, четвертый — базальтами.

Вулкан Мутновский-1

Соответственно возрасту, конусы в различной степени подверглись разрушению эрозионными и ледниковыми процессами. Особенно глубоко расчленен Мутновский-1 (комплекс М на рис. 2), претерпевший воздействие обеих фаз позднечетвертичного оледенения. Его открытая северная часть теперь представляет систему скалистых хребтов Отходящий и Клешня с отрогами. Здесь с вулканом совмещен южный фланг Мутновского геотермального месторождения, проявляющегося несколькими группами горячих источников.

Скальные обрывы хребтов, ледниковых долин-трогов и стенок кальдер дают прекрасную возможность увидеть внутреннее устройство вулкана, сложенного чередующимися потоками лав и пачками пирокластического материала — бомб, шлаков и пеплов. Толщи пород изменены и расщеплены под воздействием вулканических газов и вторичного минералообразования, пронизаны пересекающими слои магматическими жилами (дайками) и межпластовыми внедрениями (силами).

Некоторые из даек служили подводными каналами побочных извержений вулкана. Частично сохранилось несколько аппаратов таких извержений: цепочка из трех шлаковых конусов со

* Объяснения некоторых терминов, помимо приводимых по тексту, даны в кратком словаре в конце путеводителя.

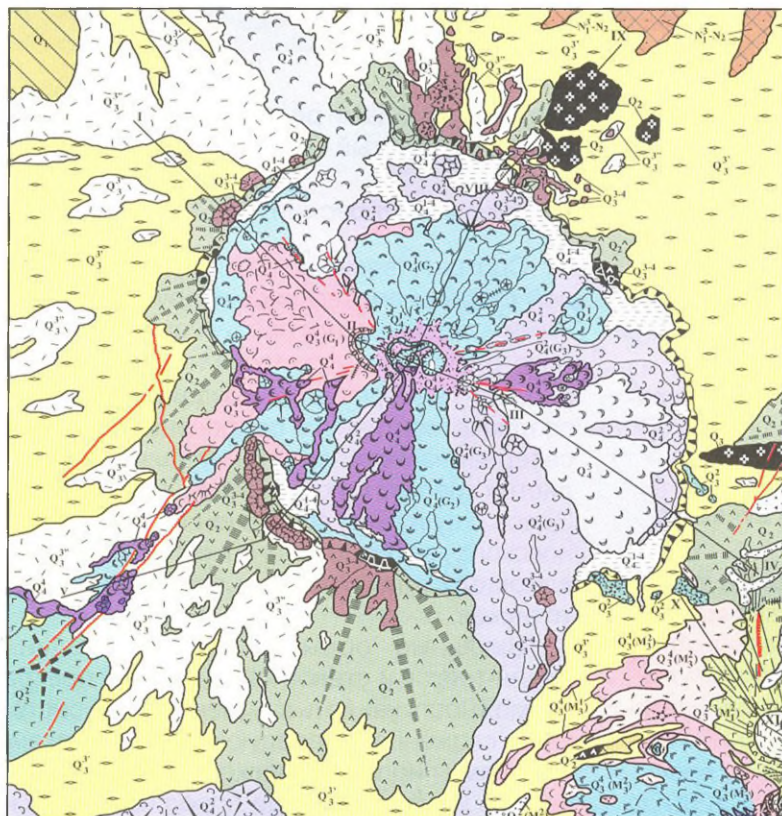


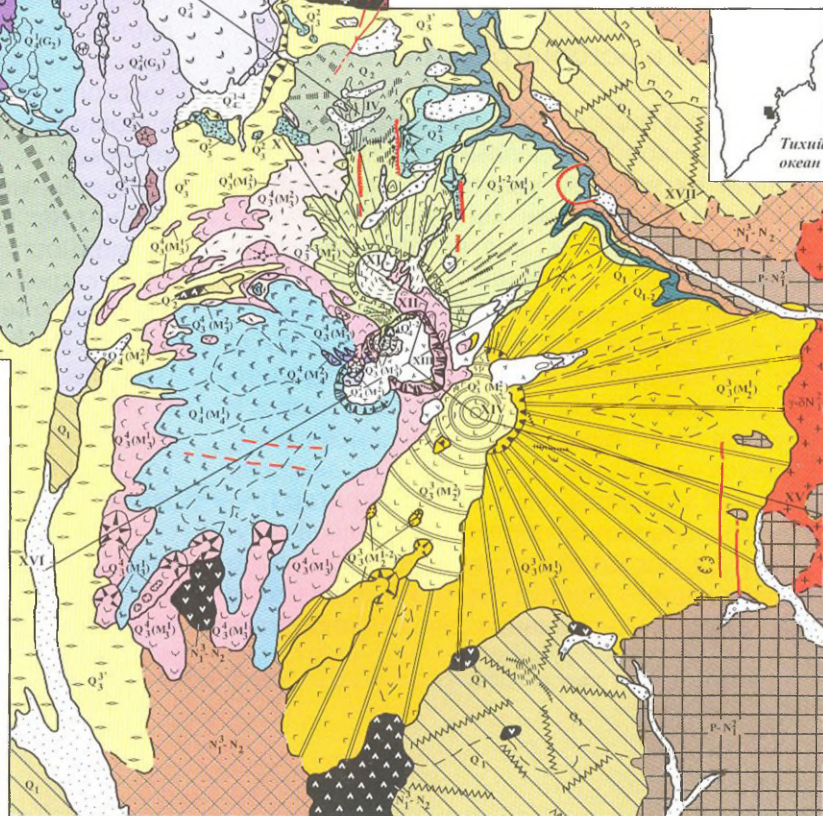
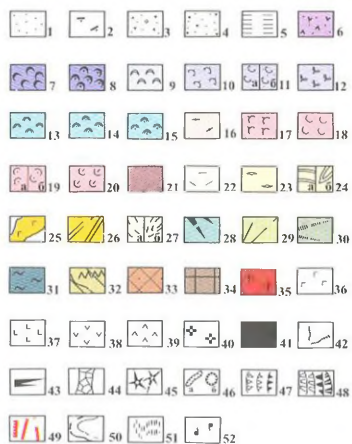
Рис. 2.

Геологическая карта вулканов
Горель и Мутновский

Fig. 2

Geological map of Gorely and Mutnovsky
volcanoes.

1 0 1 2 км



Тихий океан

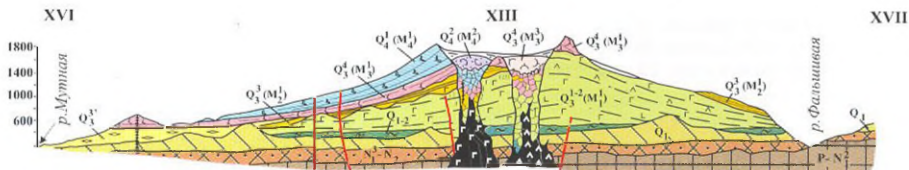
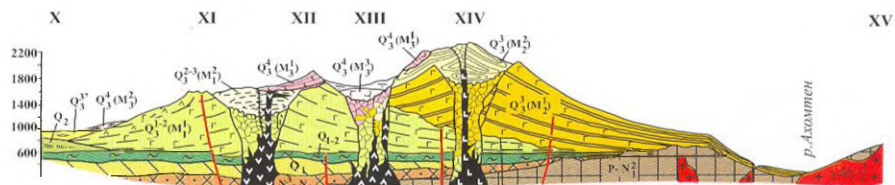
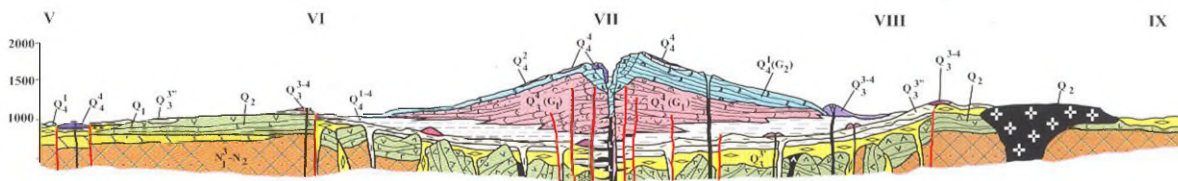


Fig. 2

Geological map of Gorely and Mutnovsky volcanoes.

Symbols

Indexes G and M mark main strato-cones which compose structures of Gorely and Mutnovsky volcanoes with divisions for the last one (M¹, etc.) correspondingly to the stages of activity.

Current and non-segmented Holocene deposits:

1 — alluvium; 2 — glaciers; 3 — deposits of collapse, mud flows and lahars; 4 — moraine; 5 — complex of aqueo-glacial, alluvial-proluvium and lake deposits with interbeds of volcanic ashes and cinders (Q₁¹); 6 — resurgent ashes and blocks of last eruptions of Gorely volcano.

Neoholocene (Q₁¹, 2.6 thou. years ago — now):

7 — andesite-basalts and andesite of last effusive eruption of Gorely volcano; 8 — cinders from the Active Funnel, Mutnovsky volcano.

Mesoholocene (Q₁², 5.75 — 2.6 thou. years ago):

9 — andesite-basalts.

Eoholocene (Q₁³, 8.9 — 5.75 thou. years ago):

10 — basalts; 11 — andesite-basalts, lavas (a) and tuffs (б).

Paleoholocene (Q₁⁴, 10.1 — 8.9 thou. years ago):

12 — basalts; 13 — andesite-basalts; 14 — andesite; 15 — dacites.

The upper strata of Late Pleistocene (Q₂¹):

16 — dacitic pumices of caldera-forming eruption of Mutnovsky-3 volcano (M³); 17 — basalts; 18 — andesite-basalts; 19 — andesites, lavas (a) and agglomerates-agglutinates (б); 20 — dacites.

Late Pleistocene (Q₂²):

21 — Q₂², complex of early-postcaldera monogene volcanic formations of Gorelovsky centre; 22 — Q₂², dacitic pumices of the final stage of caldera-forming eruptions of Gorelovsky centre; 23 — Q₂², dacitic, andesite-dacitic, andesite pumices and ignimbrites of the main stage of caldera-forming eruptions of Gorelovsky centre; 24 — Q₂², complex of filling of the summit caldera of Mutnovsky-2 volcano: lake deposits and lava-pyroclastic formations of the intracaldera cone on the map (a) and in the sections (б) (M²); 25 — Q₂², lavas of side breakthroughs of Mutnovsky-2 volcano (M²); 26 — Q₂², volcanites of the main cone of Mutnovsky-2 volcano (M²) (solid shading flanks close to the primary ones, broken shading eroded flanks); 27 — Q₂², complex of filling of the summit caldera of Mutnovsky-1 volcano (M¹) — aqueo-glacial deposits, basalts-andesites of intracaldera structure: (a) on the map, (б) in the sections; 28 — Q₂², side breakthroughs and monogene volcanoes of pre-caldera stage; 29 — Q₂², volcanites of the main cone of Mutnovsky-1 volcano (M¹).

Early-middle Pleistocene (Q₃¹):

31 — dacitic pumices and ignimbrites.

Early Pleistocene (Q₃²):

32 — lava sheets and outliers of strato-volcanoes, basalts-andesites.

Late Miocene-Pliocene (N¹ — N³):

33 — weakly dislocated rock mass of contrast, basaltoid and acid volcanites with extrusions and subvolcanic bodies of biotite-amphibole rhyolites (Alney series).

Oligocene — middle Miocene (P — N¹):

34 — dislocated rock mass of greenstone-metamorphosed and silicified volcanic and volcanogene-sedimentary deposits tufoconglobreccias, tuff sandstones and aleurolites, lavas, dykes and sills of basalt-andesitic porphyrites; 35 — intrusions of granodiorites-granites.

Other symbols.

Rock compositions of the formations of Middle and Late Pleistocene non-segmented in details:

36 — basalts; 37 — andesite-basalts; 38 — andesites; 39 — dacites; 40 — rhyodacites-rhyolites. 41 — effusive domes, extrusions, subvolcanic bodies and lava volcanic necks (in the sections); rock composition analogously to 36 — 40; 42 — dykes; 43 — sills (in the sections); 44 — breccias of volcanic necks eruptive and those of collapses; 45 — cinder cones young (preserved) and ancient (partially destructed); 46 — lava boccas and explosive funnels; 47 — crater crests, from early to young; 48 — crests and brows of caldera scarps, from ancient to young; 49 — dislocations with a break in continuity; with established displacement, without amplitude, dying out and buried; 50 — geological boundaries: between age complexes and between separate bodies (intraformational); 51 — zones of altered rocks; 52 — thermal springs and vapour-and-gas streams.

Рис. 2.

Геологическая карта вулканов Горелый и Мутновский.

Условные обозначения

Индексы G и M₁ маркируют главные стратоконусы, составляющие постройку вулканов Горелый и Мутновский, с подразделениями для последнего (M₂ и т. д.) соответственно этапам деятельности.

Современные и нерасчлененные голоценовые отложения:

1 — аллювий; 2 — ледники; 3 — отложения обвалов, селей и лахаров; 4 — морена; 5 — комплекс водно-ледниковых, аллювиально-пролювиальных и озерных отложений с прослоями вулканических пеплов и шлаков (Q₁); 6 — резургентные пеплы и глыбы последних извержений в Горелый.

Поздний голоцен (Q^{*}, 2,6 тыс. лет назад — ныне):

7 — андезито-базальты и андезиты последнего эффузивного извержения в Горелый; 8 — шлаки Активной Воронки в Мутновский.

Средний голоцен (Q^{*}, 5,75 — 2,6 тыс. л. н.):

9 — андезито-базальты.

Ранний голоцен (Q^{*}, 8,9 — 5,75 тыс. л. н.):

10 — базальты; 11 — андезито-базальты, лавы (а) и туфы (б).

Древний голоцен (Q^{*}, 10,1 — 8,9 тыс. л. н.):

12 — базальты; 13 — андезито-базальты; 14 — андезиты; 15 — дациты.

Верхи позднего плейстоцена (Q^{*}):

16 — дацитовые пемзы кальдерообразующего извержения в Мутновский 3 (M₁); 17 — базальты; 18 — андезито-базальты; 19 — андезиты, лавы (а) и агломераты-агглютинаты (б); 20 — дациты.

Поздний плейстоцен (Q^{*}):

21 — Q^{*}, комплекс ранне-посткальдерных моногенных вулканических образований Гореловского центра; 22 — Q^{*}, дацитовые пемзы заключительного этапа кальдерообразующих извержений Гореловского центра; 23 — Q^{*}, дацитовые, андезито-дацитовые, андезитовые пемзы и игнимбриты главного этапа кальдерообразующих извержений Гореловского центра; 24 — Q^{*}, комплекс заполнения вершинной кальдеры в Мутновский-2: озерные (?) отложения и лаво-пирокластические образования внутрикальдерного конуса на карте (а) и на разрезах (б) (M₁); 25 — Q^{*}, лавы побочных прорывов в Мутновский-2 (M₁); 26 — Q^{*}, вулканы главного конуса в Мутновский-2 (M₁) (сплошная штриховка — склоны, близкие к первичным, прерывистая — эродированные); 27 — Q^{*}, комплекс заполнения вершинной кальдеры в Мутновский-1 (M₁) — водно-ледниковые отложения, базальты андезиты внутрикальдерной постройки: (а) на карте, (б) на разрезах; 28 — Q^{*}, побочные прорывы и моногенные вулканы предкальдерного этапа; 29 — Q^{*}, вулканы главного конуса в Мутновский-1 (M₁).

Средний плейстоцен (Q^{*}):

30 — образования докальдерного сооружения в Пра-Горелый и соседних вулканов.

Ранний-средний плейстоцен (Q^{*}):

31 — дацитовые пемзы и игнимбриты.

Ранний плейстоцен (Q^{*}):

32 — лавовые покровы и останцы стратовулканов, базальты-андезиты.

Поздний миоцен плиоцен (N^{*} N^{*}):

33 — слабодислоцированная толща контрастных, базальтоидных и кислых вулканитов с экструзиями и субвулканическими телами биотит-амфиболовых риолитов (алнейская серия).

Олигоцен — средний миоцен (P—N^{*}):

34 — дислоцированная толща зеленокаменно-метаморфизованных и окремелых вулканических и вулканогенно-осадочных отложений: туфоконглобрекчи, флишоидные туфопесчаники и алевролиты, лавы, дайки и силлы базальтовых андезитовых порфирифов; 35 — интрузии гранодиоритов-гранитов.

Прочие обозначения

Составы пород детально не расчленяемых образований среднего позднего плейстоцена:

36 — базальты; 37 — андезито-базальты; 38 — андезиты; 39 — дациты; 40 — риодациты-риолиты. 41 — эффузивные куполы, экструзии, субвулканические тела и лавовые жерловины (на разрезах); состав пород аналогично 36 — 40; 42 — дайки; 43 — силлы (на разрезах); 44 — брекчи жерловин — эруптивные и обрушений; 45 — шлаковые конусы — сохранившиеся молодые и частично разрушенные древние; 46 — лавовые бокки и взрывные воронки; 47 — гребни кратеров, от ранних к молодым; 48 — гребни и бровки кальдерных уступов, от древних к молодым; 49 — разрывные нарушения: с установленным смещением, безамплитудные, затухающие и погребенные; 50 — геологические границы: между возрастными комплексами и между отдельными телами (внутриформационные); 51 — зоны измененных пород; 52 — термальные источники и паргазовые струи.

Mutnovsky volcano is located 75 km from the city of Petropavlovsk-Kamchatsky and 20 km from the coast of Pacific Ocean, beyond the chain of Coast ridge. This is one of the most majestic structures of «fire necklace» of Kamchatka. Vivid combination of various forms of its relief and fumarole-solfataric activity against a background of rocks painted in bright colours, glittering glaciers and waterfalls makes Mutnovsky volcano to be one of the most beautiful monuments of nature and object of scientific-cognitive and sporting tourism.

Structure and development history of the volcano

According to its shape and geological structure volcano represents ridged mountain mass which consists of four cones-strato-volcanoes truncated by small summit calderas (Mutnovsky-1-4 and complexes M₁ on geological map and sections, correspondingly, Fig. 2). Its absolute height is 2323 m, exceeding over surrounding locality is from 1200 to 2000 m. It began its activity in Late Quaternary time, about 60–80 thou. years ago, and developed according to the stable repeated scheme: growth of the cone — formation of a pit on summit (of summit caldera or large crater) — growth of intracaldera structure and full dormancy of the cone. After that shifting of magma effluent channel took place and cycle repeated at new place. Three early cones of Mutnovsky volcano are formed by the rocks of

basalt-andesite-rhyodacite line, the fourth one — by basalts.

Mutnovsky-1 volcano

According to the age, cones were subjected to the different extent to the destruction by erosive and glacial processes. Mutnovsky-1 volcano is separated especially deeply (complex M₁, Fig. 2) which underwent the influence of both phases of Late Quaternary glaciation. Its open northern part represent now system of rocky ridges — Otkhodyashchy and Kleshnya — with spurs. Here a southern flank of Mutnovskoe geothermal deposit manifesting itself by several groups of hot springs is combined with the volcano.

Rocky scarps of ridges, glacial trough-valleys and caldera walls give a good possibility to see internal structure of the volcano formed by alternating lava streams and bands of pyroclastic material bombs, cinders and ashes. Rock masses are altered and painted in bright colours under the influence of volcanic gases and secondary mineral formation. They are penetrated with magmatic veins (dykes) intersecting the layers and interlayer invasions (sills).

Some dykes served as incurrent canals of adventive volcanic eruptions. Some apparatuses of such eruptions: chain of three cinder cones with uncovered lava vents at northern foot of Mutnovsky-1 volcano and single destructed cone on its flank, 1.5 km to south-east of previous ones (Fig. 2), partially preserved. Western and Eastern groups of

открытыми лавовыми жерловинами у северного подножия Мутновского-1 и одиночный разрушенный конус на его склоне, в 1,5 км к юго-востоку от предыдущих (рис. 2). Пространственно с ними ассоциируют соответственно Западная и Восточная группы Северо-Мутновских горячих источников.

Вершинная кальдера Мутновского-1 из-за глубокой эрозии постройки по форме выражена слабо. Она опознается по структурным соотношениям комплексов вулканических пород: друтопадающих, периклинально (с наклоном от одного центра) залегающих толщ материнской постройки Мутновского-1 и полого, субгоризонтально наслаивающихся вулканитов в ее вершинной части, что могло иметь место лишь при заполнении замкнутой впадины на вершине. По этим данным реконструируется асимметричная кальдера овальной формы, несколько смещенная от оси материнской постройки на ее северо-западный склон, с размерами по осям 2x2,5 км. Высота Мутновского-1, достигавшая 2400 м (при объеме ~56 км³), с образованием кальдеры была снижена до уровня 1800-1900 м. В низкой северо-западной части кальдеры позднее возникла заполнявшая ее дочерняя вулканическая постройка (комплекс М₁, на рис. 2). Останец высокого юго-восточного внутреннего склона кальдеры выстлан маломощной пачкой туфогенных водно-ледниковых отложений, внизу переходящих в озерные, и частично перекрыт породами более молодых частей вулкана.

Вулкан Мутновский-2

Жерло второго конуса в массиве вулкана Мутновский (комплекс М₂ на рис. 2) было смещено от оси предшествующего на 3 км к юго-востоку. Это значительно лучше сохранившаяся постройка аналогичного предыдущей типа («вулкан в вулканике», или типа Сомма-Везувий). Основательно нарушен только северный ее склон двумя крупными троговыми долинами, ледниковые цирки в верховьях которых «съели» северную половину вершины. Восточный и южный склоны близки к первичным и лишь в верхних частях изрезаны довольно глубокими ложбинами-барранкосами.

По составу пород Мутновский-2 — существенно базальтоидный конус, сходный с предшествующим по количественному соотношению лав и пирокластического материала (индексу explosивности) и доле вулканитов средне-кислого состава. В числе последних наблюдаются лавы риодацитов на водоразделе упомянутых трогов, потоки двупироксеновых андезитов на северо-восточном и южном склонах, поток черных афировых (не содержащих минералов-вкрапленников) ферроандезитов на восточном склоне. К поздней стадии деятельности Мутновского-2 относится ряд побочных прорывов базальтовых лав. Их шлаковые конусы расположены на юго-западном склоне постройки.

Сформировавшийся конус Мутновского-2 достигал высоты 2400 м и объема около 24 км³. По соотношению его лав с разновозрастными

Severo-Mutnovskie hot springs, correspondingly, associate with them spatially.

Summit caldera of Mutnovsky-1 volcano is weakly expressed by form because of deep erosion of structure. According to the geological data, asymmetrical structure of oval shape, which is slightly displaced from the axis of mother structure to its north-western flank (dimensions by the axes are 2x2.5 km), is reconstructed. Height of Mutnovsky-1 volcano, which was 2400 m (with the volume 56 km³), was decreased with the formation of caldera to the level of 1800—1900 m. Later a daughter volcanic structure filling the caldera occurred in its low north-western part.

Mutnovsky-2 volcano

Vent of the second cone in the mass of Mutnovsky volcano (complex M₂, Fig. 2) was displaced 3 km to south-east from the axis of the previous one. This is much better preserved structure of the type analogous to the previous one («volcano in volcano», or Somma-Vesuvius type).

According to the rock composition Mutnovsky-2 volcano is essentially basaltoid cone which is similar to the previous one according to the abundance ratio of lavas and pyroclastic material (index of explosiveness) and fraction of volcanites of medium-acid composition.

A cone of Mutnovsky-2 volcano that has formed was 2400 m in height and about 24 km³ by volume. According to the relation of its lavas with glacial

forms (of different age) of surrounding mountain-valley relief, time of its activity is referred to the Interglacial period, about 30-40 thou. years ago.

Summit caldera of Mutnovsky-2 volcano was 2.5 km in diameter and had almost horizontal edge of ring scarp at a level of 2000—2050 m. Intracaldera cone (complex M₂, Fig. 2) appeared with small displacement to the west from the centre of caldera. In view of this it filled this very half of caldera up to the top, and part of its lavas flowed here to the flanks of mother structure. Composition of rocks from the cone is represented with basalts and andesite-basalts.

Mutnovsky-3 volcano

The third cone in mass of Mutnovsky volcano was laid on already formed high pedestal, between summits of two previous structures. Owing to this, Mutnovsky-3 volcano which to the end of its activity was by height close to its cones-predecessors (2200 m) did not reached their volume «having obtained» about 5 km³ only.

Structure of Mutnovsky-3 volcano can be watched very well in the ring scarp of its caldera and in the left flank of Vulkannaya river which is flowing out of it. Section of near-summit part of the structure stripped by them represents usual for strato-volcanoes alternation of lavas and pyroclastic material which are altered, to different extent, by the influence of volcanic gases and cut with thin dykes. Lavas interlaid here and there by chaotic clumpy deposits of mud-and-stone flows (lahars) which accompanied

ледниковыми формами окружающего горнодолинного рельефа время его деятельности относится к межледниковью, около 30—40 тыс. лет назад.

Вершинная кальдера Мутновского-2 имела диаметр 2,5 км и почти горизонтальную кромку кольцевого уступа на уровне 2000—2050 м. Внутрикальдерный конус (комплекс М₂ на рис. 2) возник с небольшим смещением от центра кальдеры к западу, в связи с чем он доверху заполнил эту ее половину, и часть его лав перелилась здесь на склоны материнской постройки. Состав пород конуса — базальты и андезитобазальты.

Вулкан Мутновский-3

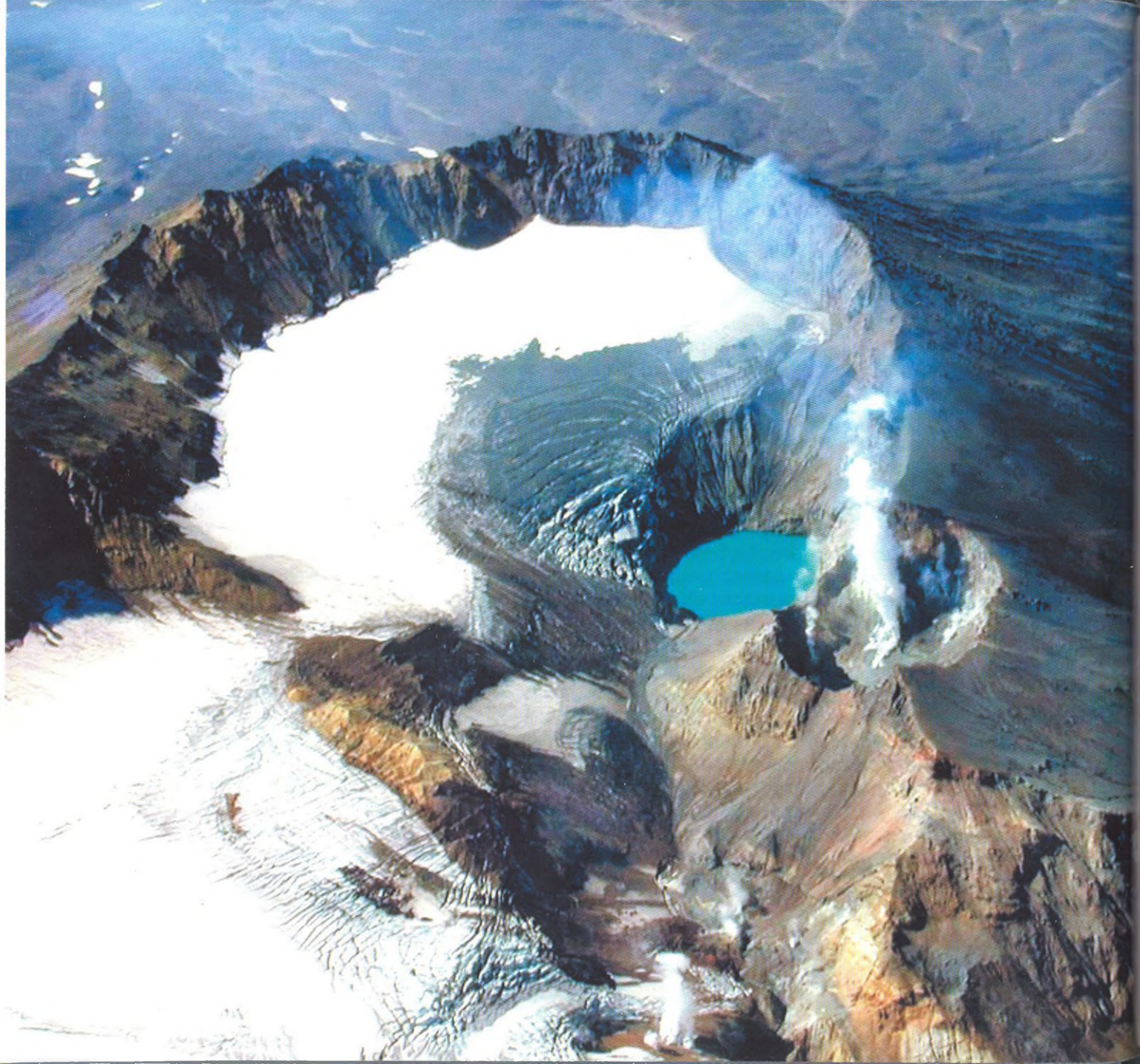
Третий конус в составе массива Мутновского вулкана заложился на уже готовом высоком пьедестале, между вершинами двух предыдущих сооружений. Вследствие этого Мутновский-3, достигший к концу своей деятельности высоты, близкой конусам-предшественникам (~2200 м), далеко не достигал их объема, «набрав» всего около 5 км³.

Строение Мутновского-3 (комплекс М₃, на рис. 2) прекрасно видно в кольцевом уступе его кальдеры и в левом борту вытекающей из нее р. Вулканной. Вскрытый ими разрез привершинной части постройки представляет обычное для стратовулканов чередование лав и пирокластического материала, в различной степени измененных воздействием вулканических газов и рассекаемых тонкими дайками. В разрезе подно-

жий преобладают лавы, местами прослоенные хаотическими глыбовыми отложениями грязекаменных потоков (лахаров), сопровождавших былые извержения.

Базальты резко преобладают и в этой части вулкана, хотя в целом в ней представлен весь спектр пород до риодацитов включительно. В частности, останец фронтальной части мощного потока риодацитов образует высокий уступ в профиле северного борта кальдеры Мутновского-3, а ниже по разрезу среди базальтовых шлаков залегает горизонт дацитовой пемзы и ее неоднородных пятнисто-полосчатых разновидностей, смешанных с крупнопорфировым оливин-пироксен-анортитовым базальтом. Последний образует также самостоятельный горизонт бомб поверх пемзового слоя.

Благодаря обширности обнаженности разреза Мутновского-3 в нем хорошо видна общая для многих вулканов зональность газогидротермальных изменений пород. Так, в самой высокой части кальдерного уступа по степени измененности выделяются три пачки вулканитов мощностью по 40-60 м: нижняя, осветленная до желто-белой окраски из-за развития по ней глинистых минералов и гипса; средняя, окисленная красноцветная, и верхняя — темно-серая, практически не измененная. Пачки соответствуют крупным циклам активности Мутновского-3, а степень их измененности представляет результат последовательного наложения дискретных циклов газогидротермального метаморфизма вулканитов в межэруптивные периоды.



На фоне этой общей измененности пород, контролируемой последовательностью их напластования, более высокой ее степенью и преимущественно наложенным, независимым от напластования характером выделяется западная часть постройки Мутновского-3, где сосредоточена и вся его современная газогидротермальная активность. Здесь в скальных обрывах можно наблюдать пересекающие слоистость пород зоны аргиллизитов, опалитов, минерализацию гипсом, местами сульфидами и кальцитом. Широкая, пересекающая склон зона подобных изменений наблюдается в левом борту ущелья р. Вулканной, в основании группы слабо действующих сольфатар у бровки обрыва. В пачках измененных туфов у северной кромки кальдеры встречается минерализация гипса в виде прекрасно оформленных прозрачных и окрашенных копьевидных кристаллов размером до 10 см, имеющих коллекционное значение.

Мутновский-3 более других составляющих вулканического массива богат побочными конусами. Большая группа их располагается у его юго-западного подножия; еще три конуса вскрыты долиной р. Вулканной (рис. 2), что позволяет видеть их строение. Наиболее ранний из них, размытый и перекрытый позднейшими лавами материнской постройки, обнажается в верховьях оврага Опасного, где его серые слоистые шлаки слагают большую часть уступа известного здесь живописного водопада. На перекрывающей их лаве, практически на том же месте прорыва,

разместился один из позднейших побочных конусов — Красный Обрыв. Он сложен окисленными красно-коричневыми шлаками с коротким языком лавы и разделен оврагом Опасным надвое: большая часть его останца расположена на правом, меньшая — на левом борту оврага. Останец еще одного небольшого конуса, перекрывающего собственный лавовый поток, обнажен у бровки левого борта долины р. Вулканной, в 2 км выше водопада.

Породы побочных конусов Мутновского-3 представлены исключительно базальтами, заметно различающимися обогащенностью плагиоклазом у прорывов, происходивших выше на склонах, и тяжелыми темноцветными минералами (оливином и пироксеном) в продуктах извержений на низких высотных уровнях.

Кальдера вулкана Мутновский-3 представляет одну (северо-восточную) из двух крупных сообщающихся впадин, расположенных соответственно на его вершине и на вершине конуса Мутновского-4 (рис. 2 и ниже рис. 3). До последнего времени ее называли «северным кратером» или северной частью «сдвоенного», «восьмеркообразного кратера» вулкана Мутновский, предполагая взаимосвязанность и одновременность образования обеих частей структуры, что могло быть лишь после формирования Мутновского-4. Однако именно для северо-восточной ее части наиболее обосновано определение «вершинная кальдера»: для нее установлены соответствующие отложения кальдерообразующего

Вид с севера активной зоны на конусах Мутновского-3 и -4. Термальное озеро в кратере внутреннего конуса Мутновского-4, обновленного извержением 2000 г., правее — Активная Воронка

A northern view of the active zones at cones of Mutnovsky-3 and -4 volcanoes. Thermal lake in the crater of internal cone of Mutnovsky-4 volcano renovated by the eruption in 2000, to the right the Active Funnel.

the past eruptions prevail in foot section.

Basalts also prevail sharply in this part of the volcano, though, as a whole, the whole spectrum of rocks up to rhyodacites inclusively is represented in it.

Owing to the extensive outcrop of the section of Mutnovsky-3 volcano a zoning of gas-and-hydrothermal alterations of rocks which is general for many volcanoes can be seen well in it. It is controlled by the sequence of their bedding. Western part of Mutnovsky-3 volcano structure is distinguished by the higher degree of alteration and mainly superimposed, independent of bedding, character. In it all current gas-and-hydrothermal activity of Mutnovsky-3 volcano is concentrated. Here, in rocky scarps one can observe zones of argillizites, opalites intersecting bedding of rocks and mineralization with gypsum, and in some places with sulphides and calcite.

Mutnovsky-3 volcano is more than other parts of volcanic massif rich in adventive cones. Large group of them is located at its south-western foot; three cones more are stripped by the valley of Vulkannaya river (Fig. 2), that makes it possible to see their structure.

Rocks from the adventive cones of Mutnovsky-3 volcano are presented by basalts, exclusively, which differ noticeably in enrichment with plagioclase near breakthroughs that occurred higher on the flanks, and heavy dark-coloured minerals (olivine and pyroxene) in products of eruptions at low height levels.

Caldera of Mutnovsky-3 volcano represents one (north-eastern) of two large communicating basins

located, correspondingly, on its summit and on the summit of Mutnovsky-4 volcanic cone (Fig. 2 and Fig. 3 below). Up to the recent time it was called «northern crater» or northern part of «doubled» «eight-like crater» of Mutnovsky volcano, assuming the intercommunication and simultaneity in formation of both parts of the structure, that could be only after formation of Mutnovsky-4 volcano. However, just for its north-eastern part a determination «summit caldera» is mostly well-grounded. Corresponding deposits of caldera-forming pyroclastic eruption which were not preserved in calderas of previous cones of Mutnovsky volcano are determined for it.

Caldera of Mutnovsky-3 volcano has on a plan an oval, elongated to north-west shape and dimensions according to the axes — 1.5 x 2.0 km. It is displaced to north-western flank of mother structure and has an asymmetric longitudinal profile with heights of south-eastern scarp edge — 2185 m, north-western part — about 1700 m and primary bottom level about 1400-1450 m. South-western flank of caldera was destructed after formation of large crater of Mutnovsky-4 volcano which united with caldera.

Deposits connected with caldera (complex M₃, Fig. 2) are represented now by considerably eroded pumice covering which covers north-western foot of Mutnovsky-3 volcano and is overlapped, in its turn, by lavas of Mutnovsky-4 volcano. Thickness of the covering gradually increases while moving away from caldera and reaches 80—100 m in section of Pemzovaya and Tarbaganya mountains beyond which it pinches out sharply. It is assumed, that a part of

пирокластического извержения, не сохранившиеся у кальдер предшествующих конусов Мутновского.

Кальдера Мутновского-3 имеет в плане овальную, удлинённую к северо-западу форму и размеры по осям 1,5х2,0 км. Она смещена на северо-западный склон материнской постройки и имеет асимметричный продольный профиль с высотами юго-восточной кромки уступа 2185 м, северо-западной части около 1700 м и первичным уровнем днища порядка 1400-1450 м. Юго-западный борт кальдеры был разрушен после образования соединившегося с ней крупного кратера Мутновского-4.

Отложения, связанные с кальдерой (комплекс М₃ на рис. 2), представлены ныне значительно эродированным пемзовым покровом, выстилающим северо-западное подножие вулкана Мутновский-3 и перекрываемым, в свою очередь, лавами Мутновского-4. Мощность покрова постепенно увеличивается на удалении от кальдеры и достигает 80-100 м в разрезе гор Пемзоя и Тарбаганья, за которыми он резко выклинивается. Предполагается, что часть покрова, продолжавшая его в этом направлении, отложилась на поверхность ледника, распространявшегося из кальдеры соседнего вулкана Горелый, и им была удалена. Пемзовый покров включает слоистые отложения пемзопадов (тефру) и несортированные, неслоистые отложения пирокластических потоков. В местах наибольшей мощности они сцементированы в трещиноватый монолит

спеканием или, возможно, гидрохимической цементацией. Отдельные горизонты пемз прослоены отложениями сопровождавших извержение крупноглыбовых грязекаменных потоков (лахаров).

Наличие связанных с кальдерой Мутновского-3 пирокластических отложений определяет ее как структуру компенсационного, взрывопроявляющегося происхождения в результате обрушения кровли опустошенного извержением магматического очага. Сходство с ней по размерам и положению вершинных кальдер двух ранних конусов Мутновского, из-за длительной эрозии и оледенений не сохранивших материала кальдерообразующих извержений, позволяет и для них предполагать аналогичный механизм образования.

Позднее в западной и северо-западной частях возникшей кальдеры возобновилась вулканическая активность: формирование внутрикальдерного базальт-андезитового конуса и рост экструзии риодацитов (комплекс М₄ на рис. 2), продолжавшийся, вероятно, и во время деятельности следующего вулкана в массиве Мутновского — конуса Мутновского-4. Фрагменты лавопирокластической постройки внутрикальдерного конуса, частично скрытого ледником и расчлененного долиной р. Вулканной, выходят по бортам последней в районе так называемого Донного фумарольного поля. Сохранившаяся часть экструзии двупироксен-плагиоклазовых риодацитов, «распиленная» глубоко врезающимся здесь ущельем р. Вулканной, слагает основание

covering which extended it in this direction deposited on the surface of the glacier spreading from the caldera of neighboring Gorely volcano and was removed by it. Pumice covering includes bedded deposits of pumice falls (tephra) and unsorted and unbedded deposits of pyroclastic flows.

Presence of pyroclastic deposits connected with caldera of Mutnovsky-3 volcano determines it as the structure of compensating explosion-pit origin as a result of overhead stoping of magmatic chamber devastated by the eruption. The likeness with it due to the dimensions and position of summit calderas of two early cones of Mutnovsky volcano, because of long erosion and glaciations which did not preserve material of caldera-forming eruptions, let us to assume an analogous mechanism of formation for them also.

Later in western and north-western parts of caldera that had occurred volcanic activity recommenced: formation of the intracaldera basalt-andesitic cone and growth of rhyodacite extrusion (complex M₁, Fig. 2) which continued, probably, during the activity of the next volcano also in massif Mutnovsky volcano — Mutnovsky-4 volcanic cone. Fragments of lava-pyroclastic structure of intracaldera cone, which is partially hidden by glacier and broken down by the valley of Vulkannaya river, appear along slopes of the valley in the region of so-called Bottom fumarolic field. Preserved part of extrusion of bipyroxene-plagioclase rhyodacites which is deeply «cut up» by the canyon of Vulkannaya river cutting here into forms a basement of right-bank Upper fumarolic

field and western frame of Bottom field. Growth of extrusion was accompanied with intensive gas-and-hydrothermal activity, here and there its rocks are crushed and replaced with opal. North-western side of the extrusion at the way out of caldera (place of rising to Bottom field) is covered with a mantle of clumpy deposits cemented to breccia which represent remains of so-called agglomerate mantle — material crumbled from the slopes of growing extrusive dome and hydrous ferric oxides and opal united by caking or secondary mineralization.

By the moment of cutting of the Vulkannaya river valley into north-western flank of Mutnovsky-3 volcano extrusion, to all appearance, represented a peculiar dam which propped up intracaldera glacier and lake existing with it. Development of extrusion ended with a large explosive eruption about 4000 years ago which destructed its considerable part and was accompanied by disastrous lowering of water-icy mass of the lake. Corresponding deposits are presented with 0.2 — 1.5-meter layer of crushed, here and there secondarily cemented, opalites in a narrow band along the banks of Vulkannaya river (explosion of fumarolic field) and with a wide, up to 3 km, fan-like train of clumpy material which overlaps them. In the last one rhyodacites of extrusion prevail. Giant, up to 5-6 m in diameter, and especially noticeable on the surface blocks of breccia which is analogous to the described material of mantle of extrusive also prevail.



Блок мантийной брекчи внутрикальдерной экструзии Мутновского-3, перенесенный лахаром к его подножию
Block of pallial breccia of the intracaldera extrusion of Mutnovsky-3 volcano, transferred by lahar to its foot

правобережного Верхнего фумарольного поля и западное обрамление Донного. Рост экструзии сопровождался интенсивной газо-гидротермальной деятельностью, местами ее породы раздроблены и замещены опалом. Северо-западный склон экструзии у выхода из кальдеры (место подъема к Донному полю) покрыт плащом сцементированных в брекчию глыбовых отложений, представляющих остатки так называемой агломератовой мантии — материала, осыпавшегося со склонов растущего экструзивного купола и спаянного спеканием или вторичной минерализацией опалом и гидроокислами железа. Показательным свидетельством синхронной экструзивному процессу газогидротермальной активности является широкая вариативность степени измененности материала мантийной брекчи, в которой бывают рядом спаяны глыбы совершенно свежих стекловатых риодацитов и их же, полностью превращенных в опалит.

Ко времени врезания долины р. Вулканной в северо-западный склон Мутновского-3 экструзия, по всей видимости, представляла своеобразную плотину, подпиравшую внутрикальдерный ледник и существовавшее при нем озеро. Развитие экструзии завершилось крупным взрывным извержением, разрушившим значительную ее часть и сопровождавшимся катастрофическим спуском водно-ледяной массы озера. Событие датируется тифрохронологами временем около 4000 лет назад. Соответствующие отложения представлены 0,2—1,5-метровым слоем

Mutnovsky-4 volcano

The youngest fourth cone of the volcano (complex M_4 , Fig. 2) was born and developed at south-western flank of Mutnovsky-3 volcano. It distorted the former ridged form of the massif. Time of its activity fell on the end of Glacial and first stages of Post-glacial, Holocene epochs (from 11 thou. years ago).

Current height of its cone is 1941 m, volume — 3.8 km³. Cone is crowned with a rounded crater of unclear origin — perhaps, it is also a summit caldera. Diameter of the crater is 1.3 km, it is partially filled with the latest volcanites and glacier. From north-east it, as have been noted, is widely communicated with caldera of Mutnovsky-3 volcano. In a whole crater is correlated with the cone and, in contrast to caldera that have been mentioned, has even subhorizontal edge of ridge. Surface of the cone is broken down by a great number of rather shallow barrancoes. Apparatuses of adventive eruptions are absent on the flanks.

Mutnovsky-4 is formed exclusively by olivine-plagioclase (\pm augite) basalts, which vary in content of phenocrysts of these minerals and, correspondingly, oxides of aluminium, magnesium and iron. No deposits are determined with outburst of which formation of crater-caldera of this very cone can be connected. Undifferentiated and uniformly basaltic composition of the products of its activity let us to assume, that summit structure could have a collapse origin peculiar to such volcanoes — as a result of underground outflow (lateral magma invasi-

on) of magma from chamber-channel system.

Like in calderas of early cones, in the crater-caldera of Mutnovsky-4 volcano volcanic activity also recommenced later. It resulted in the formation of andesite-basaltic cinder cone. Vent of this structure broke practically on the ridge of northern wall of Mutnovsky-4 crater, that is why in straitened space only sector, j of normal cone, had formed. Its crater, had been stripped now by the head of Vulkannaya river, had oval shape and dimensions according to the axes 300 x 600 m. Absolute height of edge was 1770 m, height over bottom — up to 230 m. In 1959-th in the crater of cone a warm (up to 42 °C in 1954) lake existed where sulphuric muds precipitated. Later, till the spring, 2000 its basin was occupied with ice. Cooling of the lake could be caused by the reconstruction of its heat-supplying structure in connection with the eruption of 1960—1961 from nearly situated young crater of Mutnovsky volcano — Active Funnel.

The cone itself is almost completely overlapped by the glacier, with the exception of large outcrop of pyroclastic mass in southern wall of its crater. Here, under 2—5-meter band of cinders and talus deposits which envelope flanks of the crater, periclinally occurring mass of cinders of bipyroxene andesite-basalts (thickness up to 120 m) is stripped. Cinders are altered and mineralized with gypsum in some places. Lavas in section of the structure are not stripped.

In March, 2000 crater of the internal cone of Mutnovsky-4 volcano became the main centre of volcanic activity again — its new eruption described below.

дробленых, местами вторично цементированных опалитов в узкой полосе по берегам р. Вулканной (взрыв фумарольного поля?), и широким, до 3 км, веерообразным шлейфом перекрывающего их глыбового материала. В последнем преобладают риодациты экструзии и особенно заметные на поверхности гигантские, до 5—6 м в поперечнике, блоки брекчии, аналогичной описанному материалу мантии экструзива. Вершиной горы Тарбаганьей шлейф разделен на два рукава. Наряду с отсутствием видимой сортировки обломков и блоков по крупности в зависимости от расстояния до источника это указывает, что механизмом их транспортировки был не только сам взрыв, но и перенос хлынувшей водно-снежно-ледяной массой. Прослеженная длина шлейфа отложений этого потока-лахара достигает 6 км, вплоть до р. Освистанной.

Вулкан Мутновский-4

Самый молодой, четвертый конус вулкана (комплекс M_4 на рис.2) зародился и рос юго-западном склоне Мутновского-3, исказив бывшую хребтообразную форму массива. Время его деятельности пришлось на окончание ледниковой и начальные этапы послеледниковой, голоценовой эпохи (от 11 тыс. лет назад).

Современная высота его конуса достигает 1941 м, объём 3,8 км³. Конус венчает округлый кратер неясного происхождения — возможно, это тоже вершинная кальдера. Диаметр кратера сос-

тавляет 1,3 км, он частично заполнен позднейшими вулканитами и ледником. С северо-востока, как отмечалось, он широко сообщается с кальдерой Мутновского-3. В целом кратер соосен конусу и, в отличие от упомянутой кальдеры, имеет ровную субгоризонтальную кромку гребня. Поверхность конуса расчленена множеством неглубоких барранкосов, аппараты побочных извержений на склонах отсутствуют.

Мутновский-4 сложен исключительно оливин-плагиоклазовыми (\pm авгит) базальтами, несколько варьирующими по содержанию вкрапленников этих минералов и, соответственно, окислов алюминия, магния и железа. Не устанавливается каких-либо отложений, с выбросом которых могло быть связано образование кратера-кальдеры этого конуса. Недифференцированный, однообразно базальтовый состав продуктов его деятельности позволяет предположить, что вершинная структура могла иметь свойственное таким вулканам провальное происхождение — в результате подземного оттока (бокового внедрения) магмы из системы очаг-канал.

Как и в кальдерах ранних конусов, в кратере-кальдере Мутновского-4 позднее также возобновилась вулканическая деятельность. Ее результатом было формирование андезито-базальтового шлакового конуса (комплекс M_5 , на рис. 2). Жерло этой постройки прорвалось практически на гребне северной стенки кратера Мутновского-4, отчего в стесненном пространстве сформировался лишь сектор, $\sim 1/4$ нормального конуса.



Его кратер, ныне вскрытый истоком р. Вулканной, имел овальную форму и размеры по осям 300х600 м, абсолютная высота кромки достигала 1770 м, высота над днищем — до 230 м. В 1950-е годы в кратере конуса существовало теплое (до 42 °С в 1954 г.) озеро, в котором осаждались серные илы. Позднее, вплоть до весны 2000 г., его впадина была занята льдом. Остывание озера могло быть вызвано перестройкой его теплопроводящей структуры в связи с извержением 1960-61 гг. из рядом расположенного молодого кратера Мутновского вулкана — Активной Воронки.

Сам конус почти полностью перекрыт ледником, за исключением крупного выхода пирокластической толщи в южной стенке его кратера. Здесь, под 2—5-метровой пачкой шлаков и осыпных отложений, облекающих склоны кратера, вскрывается периклинально залегающая толща шлаков двупироксеновых андезито-базальтов мощностью до 120 м. Шлаки местами изменены и минерализованы гипсом. Лавы в разрезе постройки не вскрыты.

В марте 2000 г. кратер внутреннего конуса Мутновского-4 вновь стал главным центром активности вулкана — его нового извержения, описываемого ниже.

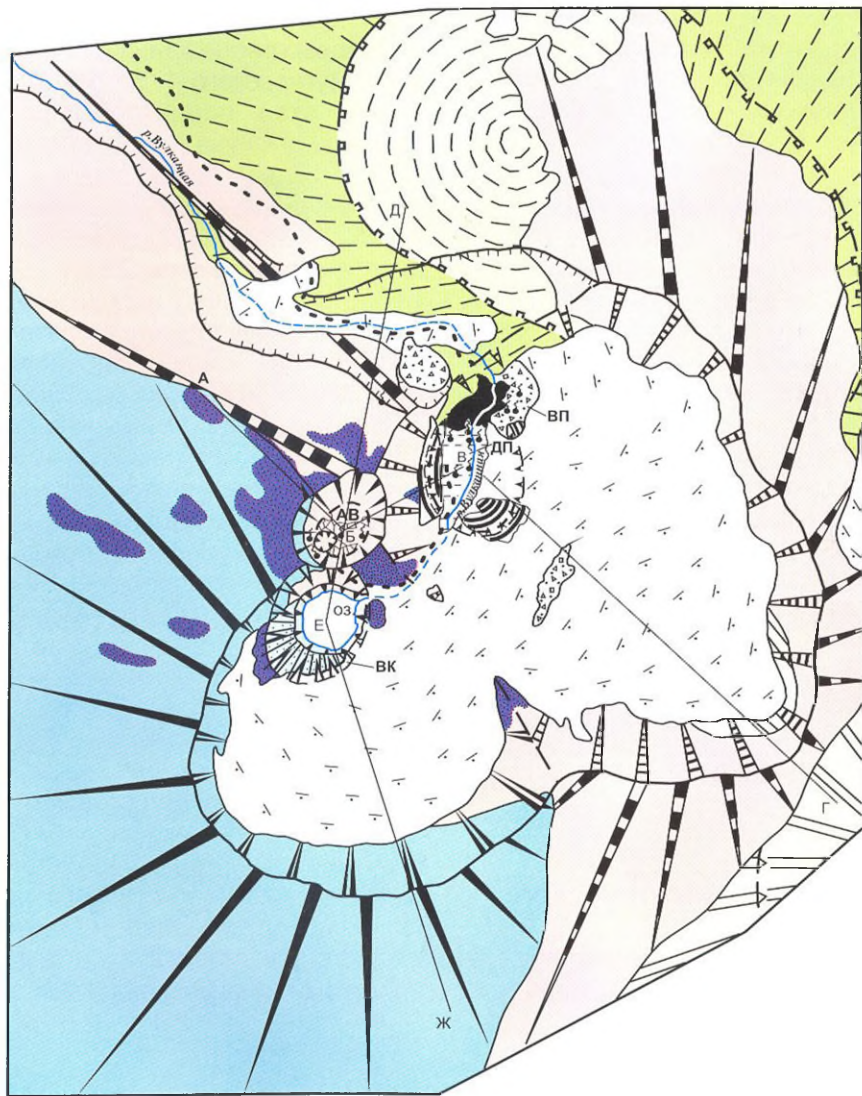
Современный вулканизм Мутновского

Позднейший этап деятельности вулкана Мутновский в основном был связан с Активной Ворон-

кой — молодым взрывным кратером, возникшим на общем гребне кальдеры Мутновского-3 и кратера Мутновского-4. Ее расположение отражает новый этап перестройки магмопроводящей системы вулкана: последовательное линейное смещение эруптивных центров с выходом за пределы ранее контролировавшей их структуры — кратера-кальдеры Мутновского-4 (рис. 2, 3). Как показало извержение 2000 г., это смещение, при сохранении общей направленности, имеет прерывистый, возвратно-поступательный характер.

Воронка имеет овальную форму с длиной осей 300 и 450 м, пологое днище на уровне 1526—1530 м и крутые скальные стенки высотой от 80 до 190 м. Она почти целиком выработана в толще пород Мутновского-3, перекрываемых лишь одним потоком базальтов и слоем шлаков Мутновского-4. Наиболее полный разрез отложения извержения, образовавшего Активную Воронку, можно видеть в скальном выступе среди ледника у подножия восточной стенки кратера внутреннего конуса Мутновского-4. В низах разреза здесь обнажается пачка черных слоистых вулканических песков мощностью до 6-7 м. На нее налегает 8-метровый пласт взрывных глыбовых отложений из измененных пород стенок Воронки с редкими вкраплениями бомб черных ювенильных (из свежей магмы) андезито-базальтов. Последние представляют собой гибридную породу со смешанными ассоциациями минералов-вкрапленников, и, в частности, с характерными крупными сростками плагиоклаза (анортита), оливина и

Кратер внутреннего конуса Мутновского-4 до извержения 2000 г
Crater of the internal cone of Mutnovsky-4 volcano before eruption in 2000



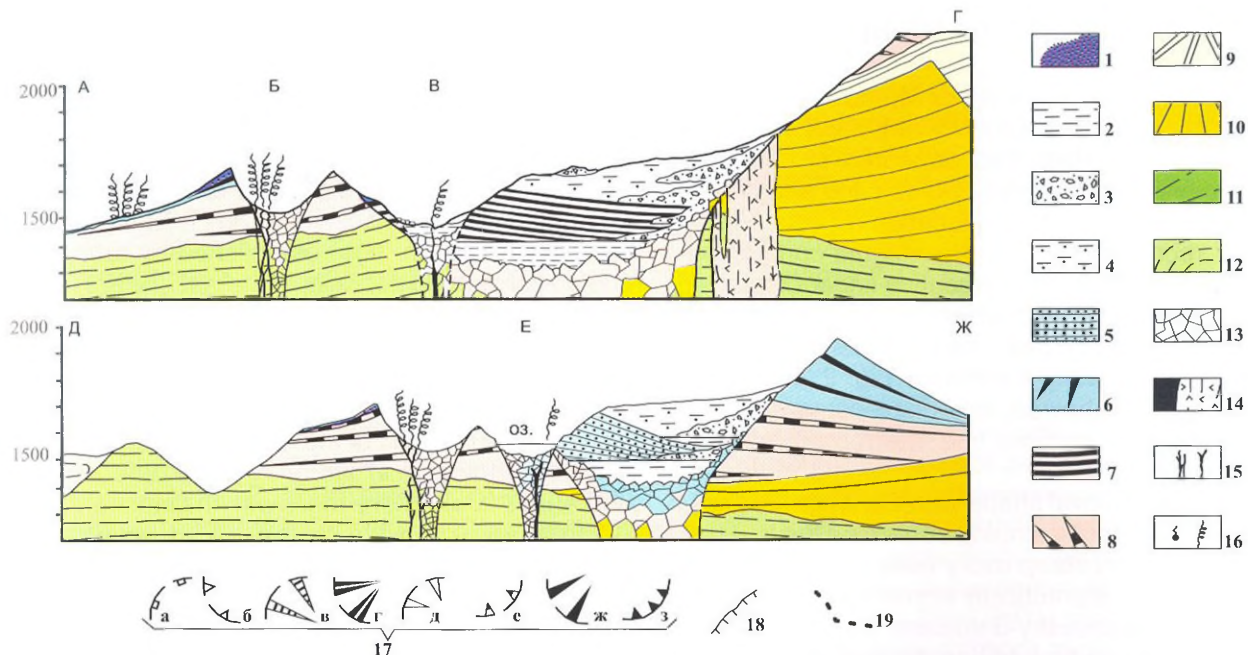


Рис. 3.
Геолого-морфологическая схема кальдерно-кратерной зоны вулкана Мутновский.

1 — шлаки извержения, образовавшего Активную Воронку вулкана; 2 — озерные отложения; 3 — отложения обвалов, ледниковые отложения (морена); 4 — ледники; 5 — шлаковые туфы внутреннего конуса в кратере Мутновского-4; 6 — в. Мутновский-4; 7 — лавы и шлаки внутреннего конуса в кальдере Мутновского-3; 8 — в. Мутновский-3; 9 — внутренний конус в кальдере в. Мутновский-2, туфы и лава; 10 — в. Мутновский-2; 11 — в. Мутновский-1; 12 — останец внутрикальдерной постройки Мутновского-1; 13 — брекчи обрушения кальдерных и кратерных стенок и дниц; 14 — лавовые и туфовые жерловины; 15 — дайки; 16 — фумаролы и газовые струи на схеме и на разрезах; 17 — уступы кальдер и кратеров вулкана, от древних к молодым; 18 — бровки ущелий и обвальных цирков; 19 — тропа. ВП — Верхнее фумарольное поле; ДП — Донное поле; ВК — внутренний конус Мутновского-4; АВ — Активная Воронка; А-Ж — линии разрезов.

Fig. 3.
Geologic-morphological scheme of caldera-crater zone of Mutnovsky volcano.

1 — cinders of the eruption which formed Active Funnel of volcano; 2 — lake deposits; 3 — deposits of collapses, glacial deposits (moraine); 4 — glaciers; 5 — cinder tuffs of the internal cone in the crater of Mutnovsky-4 volcano; 6 — Mutnovsky-4 volcano; 7 — lavas and cinders of the internal cone in caldera of Mutnovsky-3 volcano; 8 — Mutnovsky-3 volcano; 9 — internal cone in caldera of Mutnovsky-2 volcano, tufts and lava; 10 — Mutnovsky-2 volcano; 11 — Mutnovsky-1 volcano; 12 — outlier of the intracaldera structure of Mutnovsky-1 volcano; 13 — breccias of collapse of the caldera and crater walls and bottoms; 14 — lava and tuff volcanic necks; 15 — dykes; 16 — fumaroles and gas streams on scheme and in sections; 17 — scarps of calderas and volcanic craters, from ancient to young; 18 — brows of canyons and collapse cirques; 19 — path. ВП Upper fumarolic field; ДП Bottom field; ВК internal cone of Mutnovsky-4 volcano; АВ Active Funnel; А-Ж section lines.

Current volcanism of Mutnovsky volcano

The latest stage of activity of Mutnovsky volcano was mainly connected with Active Funnel — young explosive crater, which had appeared at common ridge of caldera of Mutnovsky-3 volcano and crater of Mutnovsky-4 volcano. Its location reflects a new stage of reconstruction of the magma-conducting system of the volcano: consecutive linear displacement of eruptive centres which go out the limits of structure that controlled them earlier — crater-caldera of Mutnovsky-4 volcano (Fig. 2, 3). As an eruption in 2000 showed, this displacement, when keeping general direction, had interrupted reciprocating character.

Funnel has an oval shape with the length of axes 300 and 450 m, gently sloping bottom on the level of 1526—1530 m and steep rocky walls with the height from 80 to 190 m. It practically wholly is worked out in rock mass of Mutnovsky-3 volcano which are overlapped only by one flow of basalts and layer of cinders from Mutnovsky-4 volcano. The more complete sequence of deposits of eruption which formed Active Funnel can be seen in a rocky bench in the middle of the glacier at the foot of eastern crater wall of internal cone of Mutnovsky-4 volcano. In the low parts of the section here a band of black layered volcanic sands with thickness up to 6—7 m crops out. A bed (8 m) of explosive clumpy deposits from altered rocks of Funnel walls with rare disseminations of bombs of black juvenile (from fresh magma) andesite-basalts overlies it. Along sharp rough

boundary these deposits of phreato-magmatic stage of eruption were overlapped by 6-meter bed of andesite-basaltic bombs and cinders analogous to the marked ones.

Time of origin of this crater is not determined exactly. Among four large explosive eruptions of Mutnovsky volcano in Holocene period (7; 6; 4—4,1 and 1,2—1,3 thou. years ago) established by tephrochronological method deposits of the last one are, most likely, connected with Active Funnel. From its origin Active Funnel is a place of manifestation of the intensive fumarolic activity of volcano, and periodically — a centre of more or less strong explosive eruptions. From 1848, when first of the eruptions of Mutnovsky volcano mentioned in literature was dated, there were about 15 eruptions more with the intervals from 1—2 to 44 years. Next to the last, very short eruption occurred in the last days in 1960 and first day in 1961. All eruptions were of explosive, phreatic or phreato-magmatic character, i.e. with loss of old crushed rocks of structure (resurgent material) only or with loss of the same ones with impurity of fresh (juvenile) magmatic matter as cinders and bombs of andesite-basaltic composition.

During the latest time volcano was characterized by stable high gas-and-hydrothermal activity, total heat power of which was analogous to continuous eruption of moderate force.

On March 17, 2000 a regular episode of eruptive activity of Mutnovsky volcano occurred. It expressed by phreatic explosions in the crater of the internal cone of Mutnovsky-4 volcano and in Active Funnel.

авгита. По резкой неровной границе эти отложения фреатомагматической стадии извержения перекрывались 6-метровым пластом андезитобазальтовых бомб и шлаков, аналогичных отмеченным. Эта пирокластика в коренном залегании (до 3—4 м) и осыпях распространена в вершинной части вулкана к западу, юго-западу и югу от Активной Воронки.

Время возникновения этого кратера точно не определено. Из установленных тефрохронологическим методом четырех крупных эксплозивных извержений Мутновского в голоценовом периоде (7; 6; 4—4,1 и 1,2—1,3 тыс. лет назад) с Активной Воронкой, вероятнее всего, связаны отложения последнего из них. С момента возникновения Активная Воронка является местом проявления интенсивной фумарольной деятельности вулкана, а периодически — центром более или менее мощных эксплозивных извержений. Начиная с 1848 г., которым датировано первое из зафиксированных в литературе извержений Мутновского, их произошло еще около 15 с интервалами от 1—2 до 44 лет. Предпоследнее очень короткое извержение имело место в последние дни 1960 г. и первый день 1961 г. Все извержения носили взрывной, фреатический или фреатомагматический характер, т. е. с выносом одних лишь старых раздробленных пород постройки (резургентного материала) или их же с примесью свежего (ювенильного) магматического вещества в виде шлаков и бомб андезитобазальтового состава. Одним из слагаемых движущей силы таких

извержений является парообразование при контакте поднимающейся магмы с приповерхностными грунтовыми водами.

Все позднейшее время вулкан характеризовался стабильно высокой газо-гидротермальной активностью, суммарная тепловая мощность которой аналогична непрерывному извержению умеренной силы.

17 марта 2000 г. произошел очередной эпизод эруптивной деятельности вулкана Мутновского, выразившийся фреатическими взрывами в кратере внутреннего конуса Мутновского-4 и в Активной Воронке.

Взрыв в кратере внутреннего конуса взломал часть занимавшего его дно ледника и вынес сернистые озерные отложения, покрывшие слоем (до 0,5 м) вязкой серой грязи весь ледник в кратерно-кальдерном комплексе и близлежащую территорию. В обновленном крутослонном кратере диаметром 230—250 м растопленные фумарольными газами остатки льда, пополнявшиеся обрушениями ледника со склонов, за 2—3 месяца образовали горячее озеро. Температура воды в вытекавшей из него под береговым ледником р. Вулканной в июне 2000 г. превышала 30 °С. К середине июля протаяла, обрушилась и была размита часть ледника, скрывавшая исток р. Вулканной, и уровень озера заметно понизился.

Взрыв в Активной Воронке произошел на ее крутом западном склоне, в месте разгрузки наиболее активных фумарол. Здесь образовалась воронка диаметром 80 м, выброшенный из нее

Составы типичных разновидностей пород вулкана Мутновский
Compositions of typical varieties of rocks from Mutnovsky volcano

Таблица 1
Table 1

Возрастной комплекс Age complex	№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁼	P ₂ O ₅	Сумма Sum
Мутновский-1 <i>Mutnovsky-1</i>	1	50.52	1.09	17.75	3.20	7.73	0.16	7.16	8.62	2.41	0.54	0.38	0.58	0.13	100.29
	2	51.56	1.04	22.55	3.27	4.94	0.21	3.18	8.56	2.82	0.59	0.52	0.96	0.15	100.35
	3	50.88	1.36	18.49	5.77	6.32	0.26	4.78	7.50	2.94	0.54	0.45	0.64	0.18	100.11
	4	59.36	1.01	17.87	2.37	4.37	0.16	2.18	5.46	4.32	1.02	0.41	0.71	0.31	99.55
	5	65.08	0.61	15.84	3.24	1.87	0.14	1.67	4.34	3.92	1.96	0.89	0.24	0.10	99.90
Мутновский-2 <i>Mutnovsky-2</i>	6	50.88	1.26	17.90	2.03	8.10	0.22	5.36	9.76	2.70	0.60	0.35	0.81	0.21	100.18
	7	59.88	1.26	16.33	1.93	6.15	0.16	1.96	4.74	4.63	1.51	0.53	0.43	0.45	99.96
	8	53.36	1.35	17.05	5.14	5.66	0.18	3.92	7.89	3.31	0.78	0.60	0.53	0.23	100.01
Мутновский-3 <i>Mutnovsky-3</i>	9	50.04	0.85	19.35	2.70	6.12	0.12	5.06	10.70	2.28	0.544	0.80	0.93	0.16	99.65
	10	72.38	0.57	13.43	1.67	2.21	0.03	0.54	1.82	3.93	8.12	0.50	0.20	0.08	100.48
	11	48.76	0.90	17.31	1.13	5.88	0.11	8.00	10.64	2.01	0.27	0.41	1.20	0.21	99.64
	12	65.90	0.71	15.63	4.00	2.13	0.07	0.82	2.04	4.39	3.12	0.56	2.89	0.20	99.70
	13	70.84	0.42	14.70	2.05	1.50	0.02	0.30	1.90	3.55	3.12	0.38	1.18	0.09	100.05
Мутновский-4 <i>Mutnovsky-4</i>	14	49.74	1.08	18.69	3.66	5.67	0.16	5.64	10.76	2.54	0.54	0.34	0.52	0.23	99.57
	15	53.82	1.12	17.41	2.14	7.41	0.16	4.04	8.88	2.64	0.98	0.19	-	0.22	99.01
	16	54.02	1.00	17.37	2.50	6.38	0.15	5.00	8.95	3.09	1.20	0.06	0.19	0.18	99.60

1 — магнезиальный базальт, северо-восточное подножие Мутновского-1; 2 — высокоглиноземистый базальт, юго-западный склон; 3 — высокожелезистый базальт, северное подножие; 4 — андезит, южный склон; 5 — кварц-содержащий амфибол-биотитовый дацит с гомеогенными включениями базальтов, северный склон; 6 — базальт, юго-восточное подножие Мутновского-2; 7 — афирный ферроандезит, восточный склон; 8 — андезитобазальт внутрикальдерного конуса, вершина вулкана (отм. 2323 м); 9 — базальт, северо-восточный склон Мутновского-3; 10 — риодацит, поток в разрезе северной стенки кальдеры; 11 — магнезиальный базальт побочного прорыва у юго западного подножия; 12 — дацит, пемза кальдерообразующего извержения у г. Пемзовой; 13 — риодацит внутрикальдерной экзтрузии; 14 — базальт, западная часть кратерного гребня; 15 — андезитобазальтовый шлак внутреннего конуса Мутновского-4; 16 — андезитобазальт, бомба из отложений Активной Воронки.

1 — magnesian basalt, north-eastern foot of Mutnovsky-1 volcano; 2 — high-alumina basalt, south-western flank; 3 — high-ferriferous basalt, northern foot; 4 — andesite, southern flank; 5 — quartz-containing amphibole-biotite dacite with homocogene enclaves of basalts, northern flank; 6 — basalt, south-eastern foot of Mutnovsky-2 volcano; 7 — aphyric ferroandesite, eastern flank; 8 — andesite-basalt of intracaldera cone, summit of the volcano (mark — 2323 m); 9 — basalt, north-eastern flank of Mutnovsky-3 volcano; 10 — rhyodacite, flow in the section of northern wall of caldera; 11 — magnesian basalt of side breakthrough at south-western foot; 12 — dacite, pumice of caldera-forming eruption at Pempzovaya mountain; 13 — rhyodacite of intracaldera extrusion; 14 — basalt, western part of crateral ridge; 15 — andesite-basaltic cinder of internal cone of Mutnovsky-4 volcano; 16 — andesite-basalt, bomb from the deposits of Active Funnel.

глибовый материал отложился у подножия склона.

Озеро в кратере внутреннего конуса Мутновского-4, постепенно охлаждаясь, вновь покрылось льдом в зиму 2001/02 г., и следующим летом на нем наблюдалась лишь узкая полынья у восточного берега. Столь быстрое падение питавшего озеро теплового потока указывает, что причиной фреатического извержения 2000 г. было, по-видимому, внедрение в обводненные породы жерловой зоны вулкана сравнительно маломощного магматического тела (дайки). Однако весной 2003 г. начался новый разогрев водоема, с быстрым таянием льда и заметным нарастанием газовой разгрузки. Возможно, произошло новое внедрение магмы, пополнение прежнего или просто сейсмогенное подновление постепенно закупоривающихся газопроводящих трещин. Озеро вновь замерзло зимой 2003/04 г., но повторная активизация как будто затухающего вулканического процесса не исключает интересные события в дальнейшем. Подобная эруптивная деятельность в кратере внутреннего конуса Мутновского-4, не оставляющая длительно сохраняющихся следов, могла неоднократно проявляться и в прошлом.

Описанные проявления активности — пример высокой динамичности развития такого «живого» геологического объекта, каким является в. Мутновский. В периоды его активизации возможность каждодневного изменения обстановки и опасность внезапных катастроф — взрывов,

обвалов, грязевых потоков и т. п. — необходимо иметь ввиду всем посетителям вулкана.

О составе и происхождении пород вулкана Мутновский

В главных чертах состав пород Мутновского характерен для вулканов, занимающих подобную ему геоструктурную позицию — во фронтальной части зоны перехода континент — океан. Его породы образуют спектр составов по возрастающему содержанию кремнекислоты: от основных — базальтов (47-53 % SiO₂), через промежуточные средние — андезито-базальты (53-57 % SiO₂) и андезиты (57-64% SiO₂) до кислых — дацитов (64-69% SiO₂) и риолито-дацитов (69-72% SiO₂). Это ассоциация генетически родственных пород, производимых из родоначальной базальтовой магмы при ее охлаждении и кристаллизации на путях подъема из подкорových глубин к поверхности, в каналах и промежуточных резервуарах-очагах. По общим петрохимическим характеристикам это высокоглиноземистая, умереннощелочная толеитовая серия, т. е. эволюционирующая сначала с преимущественным обогащением промежуточных, базальт-андезито-базальтовых пород окислами железа, а лишь затем — щелочами и кремнеземом. Часть таких пород, однако, обогащена железом не обнаруживает и этим близка по типу к иной, так называемой известково-щелочной серии.

Explosion in the crater of the internal cone broke up part of the glacier which occupied its floor and carried away sulphurous lake deposits which covered with a layer (up to 0.5 m) of viscous grey mud the whole glacier in crater-caldera complex and neighboring area. In renovated steep-sloped crater of 230—250 m in diameter remains of ice melted by fumarolic gases and filled up with glacier cavings from the flanks formed a hot lake for 2—3 months. Temperature of water in Vulkannaya river flowing out of it under coast glacier exceeded 30 °C in June, 2000. By the middle of July part of glacier which hid the head of Vulkannaya river melted, collapsed and was washed away, level of the lake decreased noticeably.

Explosion in Active Funnel occurred on its steep western flank, in place of discharge of the most active fumaroles. Here a funnel of 80 m in diameter had formed, clumpy material which was thrown out of it precipitated at the foot of flank.

Cooling gradually, lake in the crater of internal cone of Mutnovsky-4 volcano got covered with ice again in winter 2001/02, and next summer only narrow polynia near eastern coast was observed on it. So rapid fall of the heat flow feeding the lake indicates, that invasion of comparatively small magmatic rock body (dyke) to flooded strata of vent zone of the volcano was, probably, a cause of phreatic eruption in 2000. However, in spring 2003 a new heating up of reservoir began, with rapid ice melting and noticeable increase in gas discharge. Probably, a new invasion of magma, addition to the former one or simply seismogene renovation of gradually capped gas-conducting fissu-

res occurred. Lake froze again in winter 2003/04, but repeated activation as if dying volcanic process did not exclude further interesting events.

On composition and origin of rocks from Mutnovsky volcano

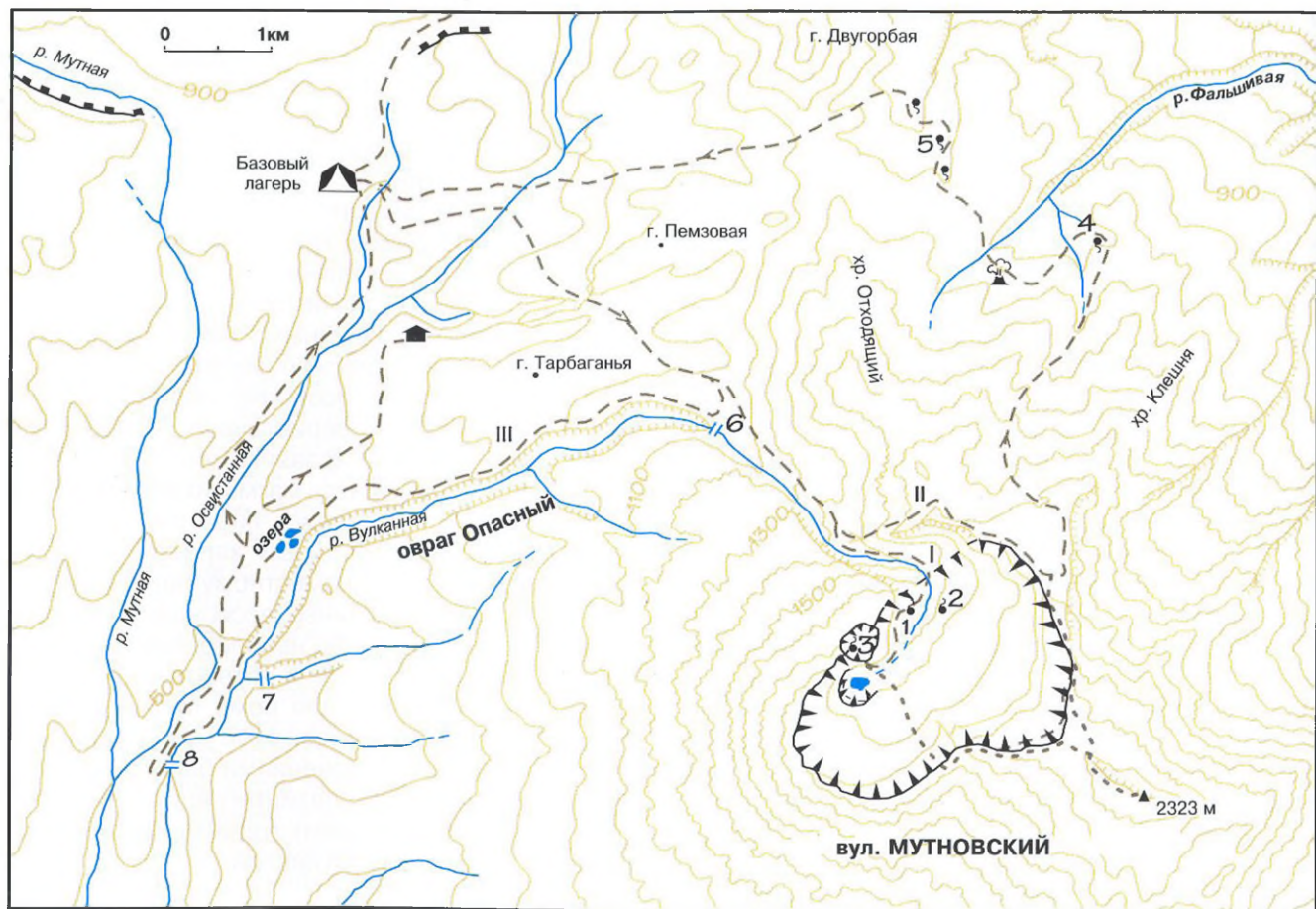
Mainly, composition of rocks from Mutnovsky volcano is typical for volcanoes occupying geostructural position similar to it — in frontal part of the zone of continent — ocean transition. Its rocks form a spectrum of compositions according to increasing content of silicic acid: from main ones — basalts (47—53 % SiO_2), through intermediate average — andesite-basalts (53—57 % SiO_2) and andesite (57—64 % SiO_2) to acid — dacites (64—69 % SiO_2) and rhyolite-dacites (69—72 % SiO_2). This is an association of genetically related rocks produced from parent basaltic magma with its cooling and crystallization on ways of rising from subcrustal depths to the surface, in channels and intermediate reservoirs-centres. According to the general petrochemical characteristics it is high-alumina, moderately alkaline tholeiitic series, i.e. evolving with primary enrichment of intermediate basalt-andesite-basaltic rocks with oxides of iron firstly, and then only with alkalis and silica. Part of such rocks, however, does not discover enrichment with iron and by this reason is close by its type to another, so-called calc-alkaline series (Table 1).

As has been noted, in the structure of Mutnovsky volcano basaltoids (basalts and andesite-basalts)

Как отмечалось, в постройке Мутновского абсолютно преобладают базальтоиды (базальты и андезито-базальты), слагающие до 80% ее объема. По структурам, химическому и минеральному составу они варьируют между тремя крайними разновидностями: относительно редкими умеренно-магнезиальными, с вкрапленниками оливина, авгита и кальциевого плагиоклаза (анортита, битовнит-анортита); широко распространенными высокоглиноземистыми, существенно плагиоклазовыми базальтами; афировыми-субафировыми (полностью или почти не содержащими вкрапленников) высокожелезистыми базальтами и андезито-базальтами. Эти крайние разновидности чаще встречаются в постройке Мутновского-1, в более молодых конусах преобладают переходные, промежуточные разности.

Породы среднего-кислого состава содержат в качестве вкрапленников более натровый плагиоклаз (лабрадор-андезин), два пироксена (авгит и гиперстен) и титаномагнетит, начало кристаллизации которого в высокожелезистых составах прекращает обогащение пород железом, и направление эволюции в серии меняется в сторону накопления кремнезема. Мутновским-1 эпизодически извергались гибридные кварцевые дациты, имеющие, помимо вкрапленников указанных «сухих» минералов, также и гидроксилсодержащие — амфибол и биотит, свидетельствующие о повышенном содержании растворенной в магме воды и, видимо, более глубинном происхождении этих пород.

Совпадение общих тенденций изменения составов пород в серии с эволюцией соответствующих расплавов, последовательно выделяющих отмеченные минералы вкрапленников, указывает, что главным процессом, обусловившим наблюдаемое разнообразие пород, была именно кристаллизация исходной базальтовой магмы с разделением кристаллов и остаточных расплавов — кристаллизационная дифференциация. Вторым по значимости процессом было смешение магм различных стадий дифференциации, признаки которого широко проявлены в породах разных, но особенно промежуточных, средних составов с сериальными признаками известково-щелочных. В зависимости от разницы составов смешивавшихся магм и их объемных соотношений формировались либо внешне однородные породы, гибридный характер которых опознается лишь по совместному присутствию в них обеих вышеописанных ассоциаций минералов-вкрапленников, либо неполностью гомогенизированные, полосчатые и пятнистые разности, подобные описанным для пемз Мутновского-3; либо, наконец, брекчиевидные кислые лавы с многочисленными включениями базальтов — результатом внедрения, дезинтеграции и быстрой кристаллизации (закалки) горячей базальтовой магмы в более холодной кислой.



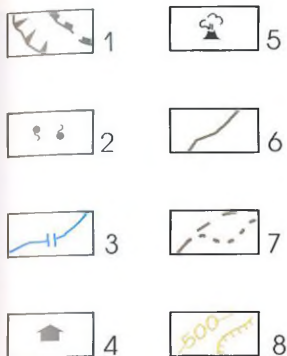


Рис. 4

Схема экскурсионных маршрутов на в. Мутновский.

1 — уступы кратеров и кальдер вулканов Мутновский и Горелый; 2 — горячие источники и парогазовые струи; 3 — водопады; 4 — домик вулканологического стационара; 5 — пароводяные скважины; 6 — автомобильные проезды; 7 — экскурсионные маршруты (I—III) с возможными осложнениями; 8 — изолинии рельефа и бровки обвальных склонов.

Основные достопримечательности:

1, 2 — Донное и Верхнее фумарольные поля Мутновского вулкана; 3 — Активная Воронка; 4, 5 — Восточная и Западная группы Северо-Мутновских горячих источников; 6-8 — водопады Верхний, Каскад и Нижний на р. Вулканной и её притоке.

Fig. 4

Scheme of excursion routes to Mutnovsky volcano.

1 — scarps of the craters and calderas of Mutnovsky and Gorely volcanoes; 2 — hot springs and vapour-and-gas streams; 3 — waterfalls; 4 — volcanologic stationary house; 5 — vapour-water wells; 6 — car passages; 7 — excursion routes (I-III) with possible complications; 8 — relief isolines and brows of collapse flanks.

Main sights: 1, 2 — Bottom and Upper fumarolic fields of Mutnovsky volcano; 3 — Active Funnel; 4, 5 — Eastern and Western groups of Severo-Mutnovskie hot springs; 6-8 — waterfalls Verkhny, Kaskad and Nizhny on Vulkannaya river and its tributary.

Описание экскурсий

Достаточно разностороннее знакомство с вулканом Мутновский и природой его окрестностей обеспечивают три экскурсионных маршрута (рис. 4): 1) в жерловую зону — в кальдеру Мутновского-3, в кратеры Мутновского-4, его внутренне-го конуса и к Активной Воронке; здесь сосредоточена современная газо-гидротермальная активность вулкана; 2) в вершинную зону, с последующим спуском к горячим источникам северного склона вулкана; 3) вдоль оврага Опасный, к водопадам на р. Вулканной и озерам в ее долине. По условиям освещенности, наилучшей в первой половине дня, маршрут в жерловую часть следует осуществлять именно в это время. Он занимает 5—6 часов. В зависимости от подготовленности групп и резерва времени возможны те или иные осложнения или совмещения маршрутов.

Экскурсия в жерловую зону вулкана Мутновский («в кратер»)

Этот маршрут проходит вверх по долине р. Вулканной, дренирующей кальдерно-кратерную систему. В западной своей части, ниже высокого водопада, это глубокое ущелье (овраг Опасный), вскрывающее породы фундамента. Верхний каньонообразный участок долины прорезает склоны вулкана. Маршрут здесь проходит по залегающему на днище леднику,

forming up to 80 % of its volume prevail absolutely. According to the structures, chemical and mineral composition they vary between three edge varieties: relatively rare moderately-magnesian with phenocrysts of olivine, augite and calcic plagioclase (anorthite, bytownite-anorthite); widely-distributed high-alumina, essentially plagioclase basalts; aphyric-subaphyric (completely or almost not containing phenocrysts) high-ferriferous basalts and andesite-basalts. These edge varieties are more often found in the structure of Mutnovsky-1 volcano, in younger cones transitional, intermediate differences prevail.

Rocks of average-acid composition contain as phenocrysts more sodic plagioclase (labradorite-andesine), two pyroxenes (augite and hypersthene) and titanomagnetite. Beginning of the crystallization of titanomagnetite in high-ferriferous compositions stops enrichment of rocks with iron, and direction of evolution in a series changes to the aspect of silica accumulation. Mutnovsky-1 volcano erupted episodically hybrid quartz dacites which besides phenocrysts of mentioned «dry» minerals have also amphibole and biotite containing hydroxyl.

Just crystallization of primary basaltic magma with separation of crystals and residual liquors crystallization differentiation, was the main process that caused the observed variety of rocks. Mixing of magma of different stages of differentiation, features of which are widely shown in rocks of different but especially intermediate, average compositions with features of calcalkaline series was the second important process.

Description of excursions

Sufficiently all-round acquaintance with Mutnovsky volcano and nature of its surroundings is provided by three excursion routes (Fig. 4): 1) to vent zone — to caldera of Mutnovsky-3 volcano, to the craters of Mutnovsky-4 volcano, its internal cone and to the Active Funnel; here current gas-and-hydrothermal activity of the volcano is concentrated; 2) to the summit zone, with the following lowering to the hot springs of the northern flank of volcano; 3) along Opasny ravine, to waterfalls on Vulkannaya river and lakes in its valley. According to the light which is the best in the first half of the day route to the vent part should be carried out at this very time. This route takes 5—6 hours. Depending on the degree of group training and reserve of time complication or combinations of routes are possible.

Excursion to the vent zone of Mutnovsky volcano («to the crater»)

This route passes upwards along the valley of Vulkannaya river draining caldera-crater system. In its western part, below a high waterfall, it is deep canyon (Opasny ravine) stripping rocks of the basement. The upper canyon-like section of the valley cuts through flanks of the volcano. Route passes here along the glacier occurring on the bottom which hides the river. In the upper part of the left (with the current) side of canyon lava-pyroclastic strata of Mutnovsky-3 volcano crops out with a group of wea-

Каньон р. Вулканной у входа в кальдерно-кратерную зону. Справа — пересекаемые дайками измененные породы Мутновского-1, на горизонте — вулкан Оपालа

Vulkannaya river canyon at the entry to the caldera-crater zone. On the right side altered rocks of Mutnovsky-1 volcano cut by dykes, in the horizon Opala volcano



kly steaming solfataras at a bench, below the left side and in the right side — deeply altered rocks of Mutnovsky-1 volcano penetrated by a series of parallel and obliquely-intersecting basaltic dykes. Alterations are expressed by replacement and filling of microcavities of original volcanites with clay minerals, opal, alunite and gypsum. Slopes of the canyon are dangerous because of collapses, and this part of the route one should pass without undue delays.

From the upper point at the end of this rectilinear section of the canyon, in its range a well-proportioned cone of Opala volcano looks effective. Then a path turns to the south and the last steep part of the rise lies through the flank of intracaldera extrusion. From its surface a view of the inner part of caldera-crater complex is revealed. Its largest part is occupied with a glacier overhanging bottom sections with fumarolic fields.

The more accessible Bottom fumarolic field (Fig. 3) is located on a level 1450 m along the banks of Vulkannaya river in its head, at the place of the lake which existed up to 50th years of the past century. It took a volcanic sink on the southern side of extrusion (explosion 4000 years ago); had been lowered by deepened canyon of Vulkannaya river the field left after itself a band of water saturated sulphurous gravelly-sandy lake deposits. This affects the character of the field activity. Outflows of more high-temperature (150—180 °C) vapour-and-gas streams are located on upland and relatively dry sections due to periphery of the area. A great number of other outflows are not hotter than vapour saturated at this



Верхове каньона р. Вулканной и Верхнее фумарольное поле. Вид с северо-запада
Head of Vulkannaya river canyon and Upper fumarolic field. North-western view



скрывающему реку. В верхней части левого (по течению) борта каньона обнажается лаво-пирокластическая толща Мутновского-3 с группой слабо парящих сольфатар у карниза, внизу левого и в правом борту — глубоко измененные породы Мутновского-1, пронизанные серией параллельных и косопресекающихся базальтовых даек. Изменения выражены замещением и выполнением микрополостей исходных вулканитов глинистыми минералами, опалом, алунином и гипсом. Склоны каньона обвалоопасны, и этот участок маршрута следует проходить без лишних задержек. Мощный обвал, проломивший своей каменной массой верхнюю часть донного ледника и временно подпрудивший р. Вулканную у ее выхода из кальдеры, произошел в сентябре 1993 г. с карниза правого борта. Обрушилась половина отторгаемого по трещине крупного блока пород, оставшаяся часть которого, заметно смещенная, грозит повторением подобной катастрофы.

С верхней точки в конце этого прямолинейного участка каньона, в его створе прекрасно смотрится стройный конус вулкана Опала. Далее тропа поворачивает к югу, и последний крутой участок подъема проходит по склону внутрикальдерной экструзии, среди глыб передробленных и опализированных дацитов. С ее поверхности открывается панорама внутренней части кальдерно-кратерного комплекса. Большая его часть занята ледником, нависающим над участками днища с фумарольными полями.

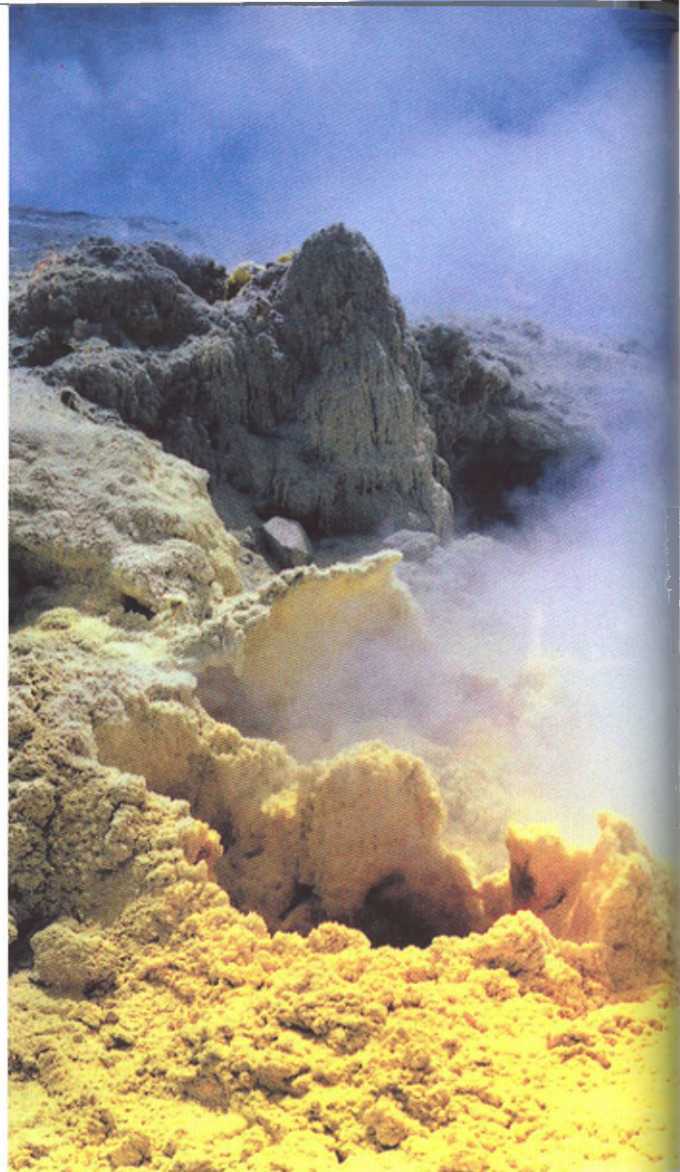
Донное фумарольное поле. Вид с юго-востока. На горизонте — вершина вулкана Горелый
Bottom fumarolic field. South-eastern view

height (94—96 °C). Gryphons of many fumaroles are incrustated with condensed sulphur, periodically whimsical sulphuric towers appear over them. In low places fumaroles flooded with ground waters transform into boiling mud pots sometimes hidden under dome-like arches of sulphur. Approaching to them is dangerous because of the possibility of a sink (a memorable cross at a path in front of the entry to the vent zone warns, in particularly, about it).

On more else lower sections of the field open mud pots appear. Close to the bed of Vulkannaya river, in the southern part of the field, a Black Pot of 5—6 m in diameter constantly changing its position and shape was located. It was filled with spouting up to 1,5—2 m mud which contained sulphur, pyrite and silica. By the middle of 90-th it transformed into the lake of opalescent hot water with plumes of ascending streams and periodically acted water fountain.

There are discharges, small pools and lakes with hot transparent water at the just edge line. One should have in mind, that neither cold, nor, all the more, hot water in the whole caldera-crater zone of the volcano are not suitable for drinking.

Volcanites of intracaldera cone of Mutnovsky-3 volcano crop out in banks of the Bottom field. In the right (with the stream of Vulkannaya river) bank, in a «window» in the middle of glacier, a bed (30-meter thickness) of altered basaltic tuff which is overlapped by a 25-meter basaltic flow crops out. In the left bank later part of intracaldera structure is observed: a fragment of cyathiform body of andesite-basalts interbedded with clumpy material which en-



Устье фумаролы с отложениями серы
Fumarole mouth with sulphur deposits

Наиболее доступное Донное фумарьное поле (рис. 3) располагается на уровне 1450 м. по берегам р. Вулканной в ее верховье, на месте озера, существовавшего до 50-х годов прошлого века. Оно занимало впадину кратера на южном склоне экструзии (взрыв 4000 лет назад?); спущенное углубившимся каньоном р. Вулканной, оно оставило после себя пачку водонасыщенных сернистых гравийно-песчаных озерных отложений. Это сказывается на характере деятельности поля. Выходы наиболее высокотемпературных (150—180 °С) парогазовых струй располагаются на возвышенных и относительно сухих участках по периферии площадки. Большинство других выходов не горячее насыщенного на этой высоте пара (94—96°). Грифоны многих фумарол инкрустируются конденсируемой серой, периодически над ними вырастают причудливые серные башни. В пониженных местах заливаемые грунтовыми водами фумаролы преобразуются в кипящие грязевые котлы, иногда скрываемые куполообразными сводами из серы. Приближение к ним опасно возможностью провала (о чем, в частности, предупреждает и памятный крест у тропы перед входом в жерловую зону).

На еще более пониженных участках поля возникают открытые грязевые котлы. Вблизи русла р. Вулканной, в южной части поля, располагался Черный Котел диаметром 5—6 м, постоянно менявший положение и форму. Он был заполнен фонтанирующей до 1,5—2 м грязью, содержащей серу, пирит и кремнезем. К середине

1990-х годов он преобразовался в озеро опалесцирующей горячей воды с плюмажами восходящих струй и периодически действовавшим водяным фонтаном.

У самого уреза реки размещаются выходы, лужицы и озера горячей прозрачной воды. Следует иметь в виду, что ни холодная, ни тем более горячая вода во всей кальдерно-кратерной зоне вулкана для питья непригодны. Перемещаться по термальным площадкам между фумаролами и источниками следует с максимальной осторожностью, лучше по уже проложенным следам и тропинкам, пересекая газовые шлейфы фумарол по намеченному безопасному направлению по возможности быстро и на задержке дыхания.

В бортах Донного поля обнажаются вулканы внутрикальдерного конуса Мутновского-3. В правом (по течению р. Вулканной) борту, в «окне» среди ледника, выходит 30-метровой мощности пласт измененного базальтового туфа, перекрываемый 25-метровым базальтовым потоком любопытного пластинчатого строения. Он состоит из 5-6 монолитных пластин-порций лавы, разделяемых шлаково-глыбовым материалом аналогичного состава. В левом борту наблюдается более поздняя часть внутрикальдерной постройки: фрагмент прослоенного глыбовым материалом чашеобразного тела андезитобазальтов, облекающего коренной склон кальдеры (след лавового озера?), и останец залегавшего выше глыбового потока черных андезитов.



Верхнее фумарольное поле. Вид с юга
Upper fumarolic field. Southern view

velops the original flank of caldera (trace of lava cauldron) and outlier of clumpy flow of black andesites occurred above.

The Upper fumarolic field is located on the right bank of Vulkannaya river, under a scarp of crawling glacier. Its basement is formed by extrusion of dacites marked above in the text. Surface of the field is blocked up with clumpy material of collapses and moraine, in some places it is covered with hydrothermal clays, sublimates of sulphur, ammonium chloride and other sulphates. On the surface of 3200 m² a great number of gas stream emissions is dispersed — from the smallest to large fumaroles. Temperature of gases is 320 °C, rate of escape — 160 m/s. Field is periodically blocked up with ice blocks. In the side of canyon of Vulkannaya river cutting through the extrusion under the Upper field a number of discharges-cascades of hot waters is observed. About 90% of all thermal capacity of caldera is related to the Upper field .

Considerable changes in activity of thermal fields occurred from the end of 90th, in apparent connection with shifts and general glacier shrinking in caldera-crater zone. Partly they could be connected with cyclic variations in climate, but following events — eruption in 2000 — indicated to probability of direct reflection of increase in heat flow of the volcano in this as a manifestation of its activation.

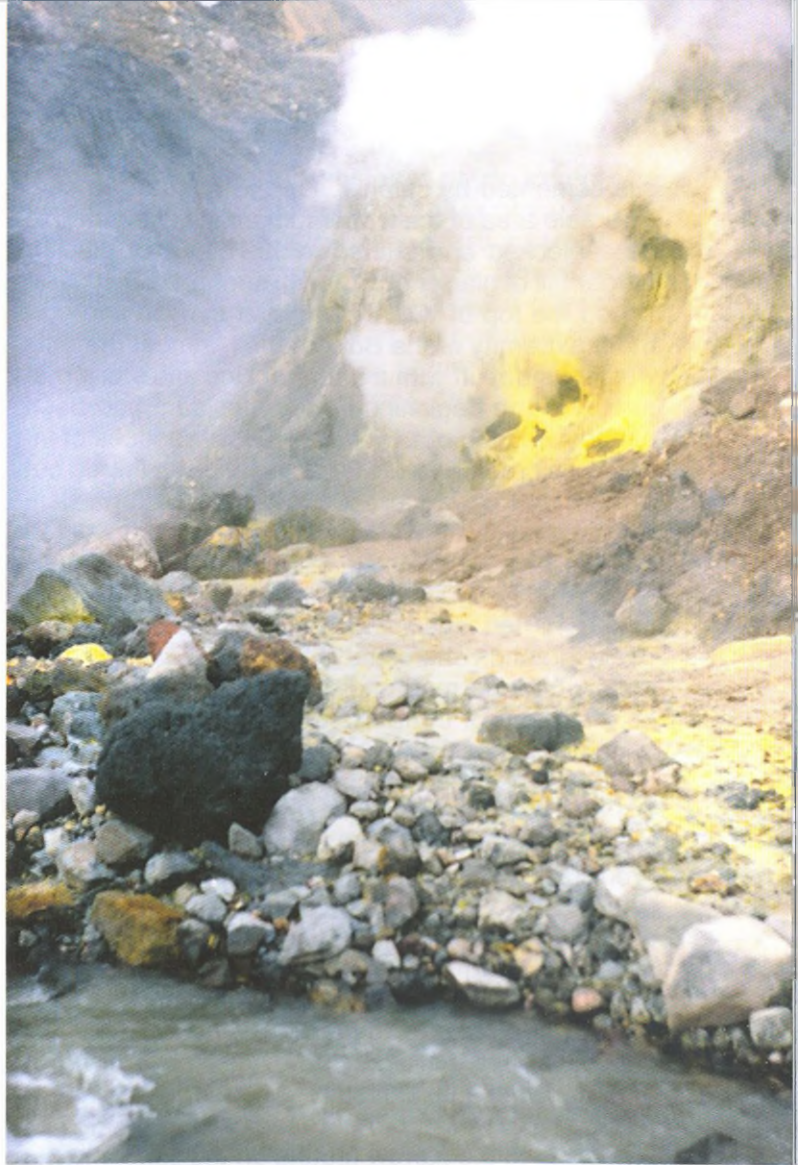
Glacier retreat in the bank of the Bottom field, along the right bank of Vulkannaya river, cropped out and dried a great number of gas stream emissions earlier «crushed» by it. Now these streams get out powerfully among crumbled clumpy and lake depo-



Грязевой котел. *Mud pot*



Озеро с плюмажами кипящей воды и выход из-под ледника
р. Вулканной в южной части Донного поля.
*Lake with plumes of boiling water and a way out from under the glacier
of Vulkannaya river in the southern part of Bottom field.*



Освобожденные от ледника фумаролы правого берега р. Вулканной
*Fumaroles of the right bank of Vulkannaya river released by the glacier
retreated*

sits cemented by sulphur. On the contrary, a considerable area of the Upper fumarolic field turned to be a blocked and shifted in 1997 part of glacier. Larger fall of glacier occurred in spring 1999. It partitioned the top of Vulkannaya river canyon and northern extremity of the Bottom field, almost up to its western side, off with a dam from ice and stony material. By the beginning of summer dam had been already washed out, however, consequences of increase in ground waters level caused by it turned out to be much more inertial and continuous. In a dam site, at its extremity, at the place of fumarole acted earlier, a mud pot that had been spouting rapidly during 1999–2000 occurred. Only by summer 2001 it had turned again into thick dry fumarole with crater-gryphon encrusted with sulphur of 3 m in diameter. Several mud-and-water pots formed in the northern part of the Bottom field that had been cut off, along the banks of small lake that had appeared. In the southern part of the field a lake at the place of the former Black pot underwent considerable transformations and turned into a narrow cleft with a brook of hot water and gryphons boiling up near.

To the Active Funnel way lies through the bottom field, along glacier hiding the head of Vulkannaya river, and along flank of the crater of internal cinder cone of Mutnovsky-4 volcano eccentrically «set into» its extensive crater-caldera (Fig. 3). After eruption in 2000 basin of the crater renovated by it is again occupied with a lake, first freezing then heating with the regular impulse of heat feeding. From here the path rises to the narrow ground on the saddle of the

southern crest of Active Funnel where from a view of the largest fumaroles at volcano is revealed. Because of small size of the view ground travelers should rise here in groups of not more than 3–4 persons taking turns if necessary. Lowering to the Funnel is possible only having rope, protective means (helmets, respirators) and corresponding alpinist training.

Fumaroles are located on the floor and walls of Active Funnel, mainly, in its western sector. Part of them is confined to the outcrop of basaltic dyke now blown up by a new explosive funnel, other struggle from under the gas-proof layers of altered rocks screening fissured conducting ones. Gases escape from fissures with a rate up to 100 m/s, there temperature reaches 560–580 °C being the evidence of rather shallow occurrence of their magmatic source. Fumaroles are characterized by abnormally high loss of sulphur, their discharges are encrusted with sulphur, sulphates, chlorides, sublimates carry mineralization of thallium, cadmium, bismuth.

Besides prevailing water vapour CO_2 , SO_2 , H_2S , HCl play the main role in the gas composition of thermal manifestations of Mutnovsky volcano that had been described (Table 2). Fumaroles of the Active Funnel differ also in substantial portion of HF and predominance of sulphur forms over CO_2 in dry gas.

With the condensation of caldera fumarolic gases acid mineralized thermal waters with a high content of chloride, sulphate, iron, aluminium form in the near-surface waters.

Return from the excursion is carried out by the same way with possible (depending on time reserve)



Грязе-водяной котел со слоем плавающей серы
Mud-and-water pot with a layer of swimming sulphur



Грифон фумаролы на месте бывшего грязевого котла
Fumarole gryphon at the place of the former mud pot

Верхнее фумарольное поле расположено на правом берегу р. Вулканной, под уступом наползающего ледника. Основание его слагает отмеченная выше экструзия дацитов. Поверхность поля завалена глыбовым материалом обвалов и морены, участками покрыта гидротермальными глинами, возгонами серы, нашатыря и других сульфатов. На площади около 3200 м² рассредоточено множество выходов газовых струй — от самых маленьких до мощных фумарол. Температура газов достигает 320 °С, скорость истечения — 160 м/с. Поле периодически заваливается глыбами льда. В борту прорезающего экструзию ущелья р. Вулканной под Верхним полем наблюдается ряд выходов-каскадов горячих вод. На долю Верхнего поля приходится около 90 % всей тепловой мощности кальдеры.

Существенные изменения в деятельности термальных полей происходили с конца 1990-х годов, в видимой связи с подвижками и общим сокращением ледников в кальдерно-кратерной зоне. Отчасти они могли быть связаны с циклическими вариациями климата, но последовавшие события извержение — 2000 г. — указывают на вероятность прямого отражения в этом нарастания теплового потока вулкана как проявления его активизации.

Отступление ледника в борту Донного поля, по правому берегу р. Вулканной, обнажило и осушило множество ранее «задавленных» им выходов газовых струй, теперь мощно выбивающихся среди сцементированных серой обвальных глы-

Состав парогазовой смеси fumarol Мутновского вулкана (по Е. А. Вакину и др.)
Composition of vapour-and-gas mixture of fumaroles from Mutnovsky volcano
 (according to Vakin E. A et al.)

Таблица 2
 Table 2

№ п/п	Местоположение <i>Location</i>	t °C	Состав газа, об. % <i>Gas composition, vol %</i>						Rп, эман em	R (газ/ конденсат) <i>(gas/ condensate)</i>	рН
			H ₂ S	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂			
1	Активная воронка	500	0.00	91.14	0.77	0.00	2.37	2.61	—	17	0.26
2	Верхнее поле	300	0.00	93.64	0.00	4.72	0.33	0.75	10	77	1.6
3	Донное поле	94	0.00	76.50	2.30	19.20	0.20	0.40	14	62	1.4

№ п/п	Состав конденсата, мг/л <i>Condensate composition, mg/l</i>												Общая минера- лизация, мг/л <i>Totalmine- raliza- tion, mg/l</i>
	катионы <i>cations</i>							анионы <i>anions</i>			недиссоц. молекулы <i>undissociated molecules</i>		
	H ⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Ce ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	SO ₃ ²⁻	SiO ₂	
1	550.0	350.0	250.0	33.2	264.5	80.4	50.0	7801.0	0.0	600.0	21471	77.8	31480
2	22.0	20.0	18.0	3.3	19.6	18.2	0.0	354.6	586.0	0.0	260.8	—	1980
3	40.8	0.0	8.0	0.9	34.7	0.0	0.0	851.0	221.0	0.0	232.0	24.3	1757

approach to waterfall in the head of Opasny ravine which is lighted up well in sunny evenings. For the groups having alpinist training and equipment it is possible to complicate the route with going out through the glacier in the crater of Mutnovsky-4 volcano and its steep eastern wall to the caldera crest of Mutnovsky-3 volcano and then to the highest point of the massif (2323 m) on the intracaldera cone of Mutnovsky-2 volcano. From here return is possible along the eastern and northern caldera crests of Mutnov-

sky-3 volcano with the overcoming of dangerous talus part of the precipitous crest dividing caldera and glacial cirque in the head of Kuropatka river.

Excursion to the summit part of the volcano and to the North-Mutnovskie hot springs

It is convenient to start ascending also from the valley of Vulkannaya river along one of the southwestern spurs of Otkhodyashchy ridge and further



бовых и озерных отложений. Наоборот, заваленной сдвинувшейся в 1997 г. частью ледника оказалась значительная площадь Верхнего фумарольного поля. Еще более крупный обвал ледника произошел весной 1999 г., перегородив плотиной из льда и каменного материала вершину каньона р. Вулканной и северную оконечность Донного поля, почти до его западного борта. К началу лета плотина уже была размыта, однако последствия вызванного ею подъема уровня грунтовых вод оказались гораздо более инерционными и длительными. В створе плотины, у ее оконечности, на месте ранее действовавшей фумаролы возник грязевой котел, бурно фонтанировавший в течение 1999—2000 гг. и лишь к лету 2001 г. вновь превратившийся в мощную сухую фумаролу с инкрустированным серой кратером-грифоном поперечником 3 м. Несколько грязе-водяных котлов образовалось в отрезанной северной части Донного поля, по берегам возникшего небольшого озерка. В южной части поля существенные преобразования претерпело озеро на месте бывшего Черного котла, превратившееся в узкую расселину с ручьем горячей воды и рядом бурлящих грифонов; крупнейший из них располагается в расширенной верхней части расселины, вскрывшей грязевой котел, ранее изолировано существовавший здесь под сводом сублимированной серы. Раскрытие трещины-расселины в направлении Активной Воронки вулкана указывает на вероятность фильтрации и из нее атмосферных осадков и

Озеро в кратере внутреннего конуса Мутновского-4 после извержения 2000 г.
Lake in the crater of the internal cone of Mutnovsky-4 volcano after eruption in 2000



Фумаролы Активной Воронки
Fumaroles of the Active Funnel



Вид Активной Воронки с востока. Вдали — вулкан Опала
Eastern view of the Active Funnel. At a distance — Opala volcano



Работа вулканологов — мониторинг активности фумарол
Volcanologist's work monitoring of the fumarole activity

конденсатов фумарол в систему Донного поля, через зоны трещиноватости в разделяющей их перемычке.

К Активной Воронке путь идет через Донное поле, по леднику, скрывающему верховье р. Вулканной, и по склону кратера внутреннего шлакового конуса Мутновского-4, эксцентрично «вмонтированного» в его обширный кратер-кальдеру (рис. 3). После извержения 2000 г. обновленная им впадина кратера снова занята озером, то замерзающим, то разогревающимся при очередном импульсе теплового питания. Отсюда тропа поднимается к узкой площадке на седловине южного гребня Активной Воронки, с которой открывается вид самых мощных на вулкане фумарол. Из-за малости обзорной площадки подниматься сюда следует группами не более 3—4 человек, сменяясь при необходимости. Спуск в Воронку возможен лишь при наличии веревки, защитных средств (каска, респираторов) и соответствующей альпинистской подготовки.

Фумаролы располагаются на дне и стенках Активной Воронки, главным образом в западном ее секторе. Часть их приурочена к выходу базальтовой дайки, теперь подорванной новой взрывной воронкой, другие пробиваются из-под газонепроницаемых слоев измененных пород, экранирующих трещиноватые проводящие. Газы вырываются из трещин со скоростью до 100 м/с, температура их достигает 560—580 °С, свидетельствуя о неглубоком залегании их магматического источника. Фумаролы характеризуются

аномально высоким выносом серы, их выходы инкрустированы серой, сульфатами, хлоридами, возгоны несут минерализацию таллия, кадмия, висмута. Активная Воронка рассматривается в качестве перспективного объекта геотехнологического освоения — путем бурения с целью перехвата и утилизации потока флюидов как носителей тепла, металлов и полезных химических соединений.

В составе газов описанных термопроявлений Мутновского (табл. 2), помимо преобладающего водяного пара, основную роль играют CO_2 , SO_2 , H_2S , HCl . Фумаролы Активной Воронки отличаются также существенной долей HF и преобладанием форм серы над CO_2 в сухом газе. Для Донного и Верхнего полей соотношения обратные. Газам Верхнего поля свойственны также высокие содержания метана и аммиака, что связывается с участием в формировании химизма их вод Мутновской гидротермальной системы.

При конденсации фумарольных газов кальдеры в приповерхностных водах формируются кислые минерализованные термальные воды с высоким содержанием хлорида, сульфата, железа, алюминия. Судя по геологическим позициям и по данным изотопных исследований, фумарольная деятельность Активной Воронки и термальных полей кальдеры имеют независимые источники тепла и флюидов. Для фумарол Воронки и кратера внутреннего конуса Мутновского-4 это, по-видимому, периодически пополняемое малоглубинное магматическое внедрение (очаг)

along its crest to the east. One who has an interest in volcanic geology will be able here to get to know with rocks of the volcano, mode of their occurrence and latest gas-hydrothermal transformations in details. Tourists will see a volcanic view in other, not less interesting foreshortening. Picturesque are the party-coloured rocks on the crest of the ridge where from an excellent view of the ocean, rocky ruins of ancient Zhirovsky volcano, Vilyuchinsky, Koryaksky and Avacha volcanoes far in the north, Mutnovskoe deposit of steam hydrothermae with constructions of electric power station and plumes of steam from wells is revealed. Near in north-west Gorely volcano is revealed in its extensive caldera, far off in west — majestic silhouette of Opala volcano, further to south-west — multiple-cone Asachi massif and well-proportioned cone of Khodutka volcano.

The way along the crest of the ridge leads to the caldera edge of Mutnovsky-3 volcano where from both the caldera itself and crater of Mutnovsky-4 volcano adjacent to it which are filled with the glacier, and the whole zone of current activity of the volcano are well seen. If one rises along the edge some more further to east walking round the outlier of clumpy flow of dacites, then it is possible to go out to the brow of through valley of Kuropatka river and see a severe view of the northern flank of Mutnovsky-2 volcano with gloomy walls and rocks overhanging the glacier.

From the edge of caldera along the brook valley between ridges Otkhodyashchy and Kleshnya one can come down to the Eastern group of North-

Mutnovskie hot springs. Its thermal field is located at the southern foot of the destructed adventive cone of Mutnovsky-1 volcano, at the edge of the train of ancient collapse. Two sections which are warmed thoroughly are distinguished on the left side of the brook valley and along its banks. At elevations emissions of vapour-ana-gas streams are located, lower — mud pots, at the brook line — boiling water pots. In clay from the grounds mineralization of sulphur, pyrite (FeS_2) and realgar (AsS_3) is observed.

On the passage from the Eastern group of thermae to the Western one it is interesting to go past one of the unplugged prospecting boreholes. It is drilled up to the strata of acid volcanites of Mutnovsky volcano basement and ejects a roaring stream of vapour-water mixture saturated with silica; silica pre-cipitates as gel on considerable area around the well, and its head is covered with a pearl-grey crust of geyselite.

Western group of North-Mutnovskie steam hydrothermae is located in chain along the western foot of a number of ancient adventive cones and includes three thermal fields — Upper, Middle and Low. These are clay grounds warmed thoroughly, here and there covered with sulphur and gypsum, with a great number of discharges of vapour-water mixture ($96\text{—}110^\circ\text{C}$), with mud volcanoes, pots and funnels of boiling water in lows and at brook beds.

In gases of North-Mutnovskie thermae (Table 3) carbon dioxide prevails, hydrogen sulphide, nitrogen, hydrogen and methane are present. Their condensates represent slightly mineralized solutions with pH close to neutral.



Среди руин Мутновского-1. Вилучинский вулкан на горизонте
Among the wrecks of Mutnovsky-1 volcano. In the horizon — Vilyuchinsky volcano



На высшей точке хребта Отходящего. Вид на север. На переднем плане — измененные породы внутрикальдерной постройки Мутновского-1, на среднем — вулкан Вилучинский, правее вдали — вулканы Корякский и Авачинский
At the highest point of Otkhodyashchy ridge. A view to the north. In the foreground — altered rocks of the intracaldera structure of Mutnovsky-1 volcano, in the middle — Vilyuchinsky volcano, to the right at the distance — Koryaksky and Avachinsky volcanoes

состава андезито-базальта — андезита. Термы Верхнего и Донного полей, вероятно, связаны с неостывшим глубинным «корнем» экструзии, хотя для Донного поля не исключена также связь с филтратами из Активной Воронки. Существенным фактором формирования химического и изотопного состава парогазовых смесей Донного поля признается циклический кругооборот серы и рассолов, насыщающих озерные отложения.

Возвращение из экскурсии осуществляется тем же путем, с возможным (по резерву времени) подходом к водопаду в верховье оврага Опасного, хорошо освещаемому в солнечные вечера. Для групп с альпинистской подготовкой и оснащением возможно усложнение маршрута, с выходом через ледник в кратере Мутновского-4 и его крутую восточную стенку на гребень кальдеры Мутновского-3 и далее к высшей точке массива (2323 м) на внутрикальдерном конусе Мутновского-2. Отсюда возвращение возможно по восточному и северному гребням кальдеры Мутновского-3, с преодолением опасного осыпного участка обрывистого гребня, разделяющего кальдеру и ледниковый цирк в истоке р. Куропатки. Повторяем, однако, что такой маршрут требует специальной подготовки.

Экскурсия к вершинной части вулкана и на Северо-Мутновские горячие источники

Восхождение удобно начать также из долины р. Вулканной по одному из юго-западных отрогов

The route ends with crossing the low pass between Mutnovsky volcano and destroyed structure of the ancient volcano — Dvugorbaya mountain.

Excursion along Vulkannaya river to the waterfalls and lakes

This route can be started from the upper, the most famous waterfall in the head of Opasny ravine, at the adventive cinder cone Krasny Obryv which is cut through by it (Fig. 4). Fooths of the volcano are overlapped here with a covering of pumice tuff of caldera-forming eruption of Mutnovsky-3 volcano. The covering is distinguished by erosion and is in its turn overlapped with clumpy deposits of explosive eruptions and mud-and-stone flows (lahars), and on the left coast of Vulkannaya river — with lavas from Mutnovsky-4 volcano. Over all these formations like a wide train clumpy deposits of lahar which accompanied explosion of extrusion in caldera of Mutnovsky-3 volcano spread with typical giant blocks of pallial breccia of extrusive.

Here Vulkannaya river dashes down by a narrow stream (53 m in height) from basaltic flow which armours looser cinders and pumice tuffs of scarp basement. Waterfall is seen best of all from the ground on the top of Krasny Obryv cone. Canyon has a depth of about 120 m here and it is impassible on bottom.

Coming down further along the right bank and passing vegetation zones from mountain tundra through alder brushwoods and alpine lawns to the



Вид активной зоны вулканов с северного края кальдеры Мутновского-3
View of the active zone of volcanoes from the northern edge of caldera of Mutnovsky-3 volcano

хр. Отходящего и далее вдоль его гребня к востоку. Интересующиеся вулканической геологией здесь смогут подробнее ознакомиться с породами вулкана, характером их залегания и позднейших газо-гидротермальных преобразований, туристы увидят вулканический пейзаж в ином, не менее интересном ракурсе. Живописны пестрые скалы на гребне хребта, с которого открывается великолепная панорама с видом на океан, на скалистые руины древнего Жировского вулкана, вулканы Вилючинский, Корякский и Авача вдали на севере, на Мутновское месторождение парогидротерм с сооружениями электростанции и султанами пара из скважин. Рядом на северо-западе открывается вулкан Горелый в своей обширной кальдере, далеко на западе — величественный силуэт вулкана Опала, далее к юго-западу — многоконусный массив Асачи и стройный конус Ходутки.

Путь вдоль гребня хребта приводит на край кальдеры Мутновского-3, с которого прекрасно наблюдаются и сама кальдера, и смежный с ней кратер Мутновского-4, заполненные ледником, и вся зона современной активности вулкана. Если вдоль края подняться еще далее к востоку, обходя останец глыбового потока дацитов, можно выйти на бровку троговой долины р. Куропатки и увидеть суровый пейзаж северного склона Мутновского-2, с мрачно нависающими над ледником стенками и скалами.

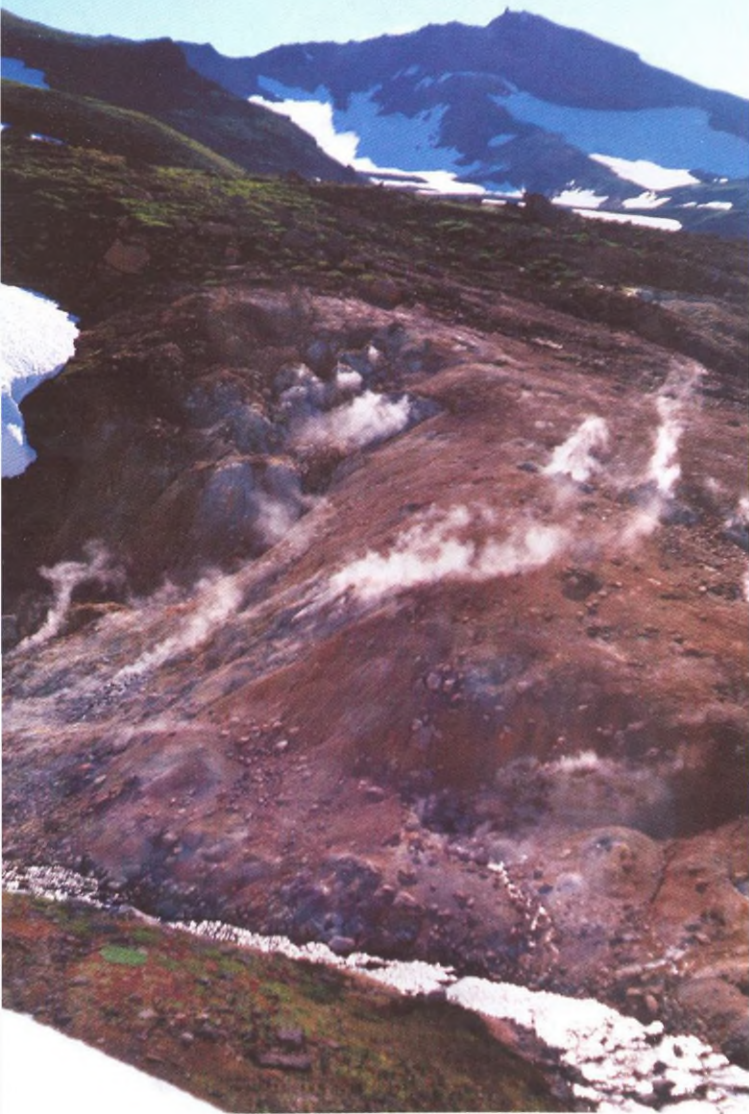
От края кальдеры по долине ручья между хребтами Отходящий и Клешня можно спуститься к



Портится погода
The weather becomes worse



Обнажения пород внутрикальдерного конуса Мутновского-2 в цирке истоков р. Куропатки
Outcrops of rocks from the intracaldera cone of Mutnovsky-2 volcano in the cirque of Kuropatka river heads



Восточная группа Северо-Мутновских гидротерм. Вид с севера.
Eastern group of Severo-Mutnovskie hydrothermae. Northern view.

park birch woods underneath one can observe section of basement stratas of Mutnovsky volcano in the left side of canyon. Under thick flows of basalts from Mutnovsky-4 volcano, pumices layer, lahars and lavas of Mutnovsky-3 volcano strata of pumice tuffs and ignimbrites is stripped. The last ones were erupted about 40 thou. years ago with formation of caldera of Gorely volcano and overlapped here remains of the ancient destroyed basaltoide volcano.

Above the mouth of brook-affluent flowing into Vulkannaya river from the right side for the tourists having some experience of rock-climbing it is possible to come down to the canyon bottom which is passable here for 1—1.5 km up and down along long-term firn basin. In this place extrusion of biotite dacites outcrops in composition of mentioned outlier of paleovolcano. Lower canyon-«pipe» is again impassable. Edges of canyon are covered with dense alder brushwoods, therefore, one should deviate from here to the north and come down to the surface of ancient cut terrace of Vulkannaya river along extensive blossoming glades. In this cosy nook a group of small lakes is located. Water in them, inspite of remaining usually firn basins along the banks, gets warmed thoroughly enough for refreshing bathing in hot summer days.

From the lakes along swamped rear edge of terrace along the brook, and then to the right of waterfall on it, through the bushes at the right side of the valley one can again come down to Vulkannaya river which turns here to the south because of the old dam by lava stream from Gorely volcano. Columnar



Западная группа Северо-Мутновских гидротерм. Кипящий водяной котел
Western group of Severo-Mutnovskie hydrothermae. Boiling water pot

Восточной группе Северо-Мутновских горячих источников. Ее термальное поле располагается у южного подножия разрушенного побочного конуса Мутновского-1, на краю шлейфа древнего обвала. Выделяются два прогретых участка на левом склоне долины ручья и по его берегам. На возвышениях располагаются выходы парогазовых струй, ниже — грязевые котлы, у уреза ручья — кипящие водяные котлы. В глине площадок наблюдается минерализация серы, пирита (FeS_2) и реальгара (AsS_3).

На переходе от Восточной группы терм к Западной интересно пройти мимо одной из незаглушенных разведочных скважин. По пути, на подъеме к ней с северо-востока, в гиганто-глыбовом развале древнего потока можно ознакомиться с одним из характерных типов смешения магм разного состава в вулканическом очаге: кварцевые дациты потока содержат множество включений, образованных некогда «вспрыснутой», диспергированной и закаленной в дацитовом расплаве базальтовой магмы. Округлые или угловатые, разламывавшиеся при вязком течении потока включения придают гибридной породе вид грубой лавобрекчии.

Скважина пробурена до толщи кислых вулканитов основания Мутновского вулкана и выбрасывает ревущую струю пароводяной смеси, насыщенной кремнеземом; последний в виде геля осаждается на значительной площади вокруг скважины, а ее оголовок покрыт жемчужно-серой коркой гейзерита.



Грязевой вулкан
Mud volcano

Состав газовой смеси Северо-Мутновских парогидротерм (по Е. А. Вакину и др.)
Composition of gas mixture of North-Mutnovskie steam hydrothermae
 (according to Vakin E.A. et al.)

Таблица 3
 Table 3

№	Местоположение <i>Location</i>	t°C	Состав газа, об. % <i>Gas composition, vol %</i>								Rn, эман em	R (газ/ конденсат) <i>(gas/ condensate)</i>	pH
			H ₂ S	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	Ar	He			
1	Восточная	101	5.60	87.34	0.00	2.91	0.54	8.60	0.54	8.60	51	12	4.2
2	Западная	96	2.70	82.48	0.00	5.92	1.10	7.70	1.10	7.70	160	5	7.0

№	Состав конденсата, мг/л <i>Condensate composition, mg/l</i>													Общая ми- нерали- зация, мг/л <i>Total mine- raliza- tion, mg/l</i>
	катионы <i>cations</i>							анионы <i>anions</i>				недиссоц. молекулы <i>undissociated molecules</i>		
	H ⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Ce ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻ -HCO ₃	F	SO ₃ ²⁻	SiO ₂	
1	0.0	20.0	72.0	3.1	5.0	2.4	0.0	85.0	562.0	61.0	0.0	0.0	0.8	820
2	0.0	15.0	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	928.0	0.0	48.0	0.0	190

Западная группа Северо-Мутновских парогидротерм располагается цепочкой вдоль западного подножия ряда древних побочных конусов и включает три термальных поля: Верхнее, Среднее и Нижнее. Это прогретые глинистые площадки, местами покрытые серой и гипсом, с множеством выходов пароводяной смеси (96—110 °С), с грязевыми вулканами, котлами и воронками кипящей воды в понижениях и у русел ручьев.

В газах Северо-Мутновских терм (таблица 3) преобладает углекислота, присутствуют сероводород, азот, водород и метан. Конденсаты их представляют слабо минерализованные растворы с pH, близком к нейтральному.

Маршрут завершается переходом через невысокий перевал между вулканом Мутновским и разрушенной постройкой древнего вулкана г. Двугорбой.

В районе перевала интересующиеся газогидротермальным метаморфизмом вулканических пород могут ознакомиться с его продуктами на площадках уже отмершей разгрузки парогидротерм. Изменения выражаются аргиллизацией (преобразованием в глины) базальтоидов и опализацией (замещением опалом) кремнеземистых («кислых») вулканитов. Южнее перевала, под островерхой скалой Пальчик на хр. Отходящем и ниже фронта небольшого ледника, распо-



Верхний водопад на р. Вулканной в верховье оврага Опасного
Upper waterfall at Vulkannaya river in the head of Opasny ravine

64



Вид верхней части оврага Опасного
View of the upper part of Opasny ravine



Каньон оврага Опасного вниз по течению р. Вулканной
Canyon of Opasny ravine downwards with the current of Vulkannaya river

лагаются участки аргиллизации, в светлых глинах которых содержатся крупные, до 10—12 см, кристаллы серо-голубого гипса, копьевидные с формами «ласточкина хвоста». В выемке ведущей к перевалу старой дороги вскрыты яркоокрашенные цветные глины — от фиолетовых и красных до лимонно-желтых. А севернее перевала восточный склон водораздела покрыт осыпью белых, розовых, кремовых, матовых или эмалево-блестящих опалитов, образованных по дацитовым лавам г. Двугорбой.

Экскурсия по р. Вулканной к водопадам и озерам

Этот маршрут можно начать от верхнего, самого известного водопада в верховье оврага Опасного, у прорезанного им побочного шлакового конуса Красный Обрыв (рис. 4). Подножия вулкана здесь перекрыты покровом пемзового туфа кальдерообразующего извержения Мутновского-3. Покров расчленен эрозией и в свою очередь перекрыт глыбовыми отложениями взрывных извержений и грязекаменных потоков (лахаров), а на левобережье р. Вулканной — лавами Мутновского-4. Поверх всех этих образований широким шлейфом распространены глыбовые отложения лахара, сопровождавшего взрыв экструзии в кальдере Мутновского-3, с характерными гигантскими блоками мантийной брекчи экструзива.

Река Вулканная здесь низвергается узкой,

53-метровой высоты струей с базальтового потока, бронирующего более рыхлые шлаки и пемзовые туфы основания уступа. Водопад лучше всего виден с площадки на вершине Красного Обрыва. Ущелье здесь имеет глубину около 120 м и понизу непроходимо. Спускаясь далее по правому берегу и минуя пояса растительности от горной тундры через заросли ольхового стланика с альпийскими лужайками до парковых березняков внизу, можно наблюдать разрез толщ основания вулкана Мутновский в левом борту ущелья. Под мощными потоками базальтов Мутновского-4, слоем пемз, лахарами и лавами Мутновского-3 вскрывается толща пемзовых туфов и игнимбритов, извергнутых около 40 тыс. лет назад при образовании кальдеры вулкана Горелого и перекрывших здесь остатки древнего разрушенного базальтоидного вулкана.

Выше устья ручья-притока, впадающего в р. Вулканную справа, для туристов с некоторым опытом скалолазания возможен спуск на дно ущелья, проходимого здесь на 1-1,5 км вверх и вниз по многолетнему снежнику. В этом месте в составе упомянутого останца палеовулкана выходит экструзия биотитовых дацитов. Ниже ущелье-«труба» вновь непроходимо. Края ущелья покрыты сплошными зарослями ольховника, поэтому отсюда надо уклониться севернее и по обширным цветущим полянам спуститься на поверхность древней скульптурной террасы р. Вулканной. В этом уютном уголке располагается группа небольших озер, вода в которых, нес-



Каскад водопадов на притоке р. Вулканной в низовьях оврага Опасного
Waterfall cascade on the tributary of Vulkannaya river in the lower parts of Opasny ravine

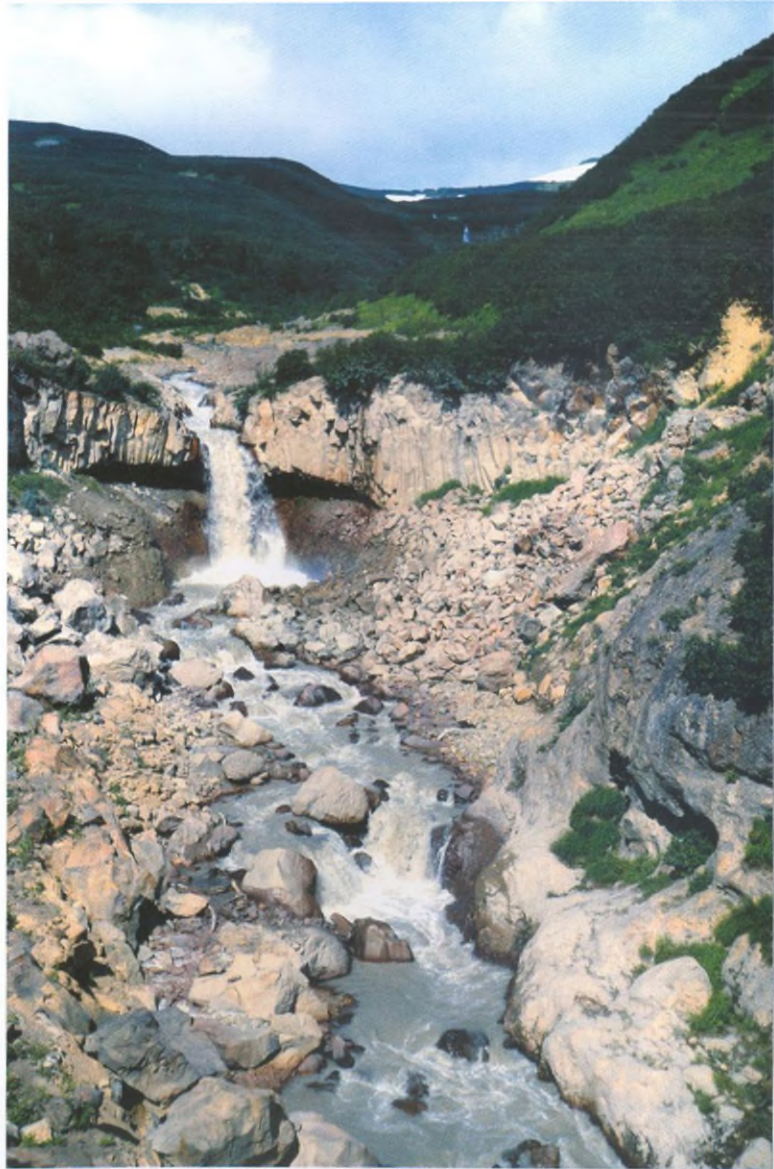
jointing and large gas pores-ventholes are well expressed in lava of the flow. At this height parts of park birch-woods begin. Waterfalls are the final purpose of the route. They are located lower along the valley: magnificent cascade on the left tributary of Vulkannaya river and (1 more km lower) on the river itself where it cuts through the mentioned flow of Gorely volcano and dashes down in new deep canyon.

Depending on the place of resting groups come back either up along the Osvistannaya river valley passing its presses by pass over «cape» of the high left bank, with a passage to the right bank (by snow bridge or wade) and further along berry glades on the flow of Gorely volcano to the camp at the edge of its caldera (Fig. 4); or they can rise to the «cape» and pass along the watershed glades to the north-east to the extensive firm basin, and then along it to the north up to the stationary house of Research Geotechnological Centre. From it, if necessary, it is not also difficult to pass to the camp site at the edge of caldera of Gorely volcano — through the firm basin which hides the head of Osvistannaya river and along tundra of its right bank.

смотря на обычно сохраняющиеся снежники по берегам, в жаркие дни лета достаточно прогревается для освежающего купания.

От озер вдоль заболоченного тылового края террасы по ручью, а затем правее водопада на нем, через участок кустарника у правого склона долины, можно вновь спуститься к р. Вулканной, поворачивающей здесь к югу из-за давней подпруды потоком лавы вулкана Горелого. В лаве потока хорошо выражены столбчатая отдельность и крупные газопоры-отдушины. На этой высоте начинаются участки парковых березняков. Конечной целью маршрута являются водопады, расположенные ниже по долине: великолепный каскад на левом притоке р. Вулканной и (еще в 1 км ниже) на самой реке, где она прорезает упомянутый поток Горелого и низвергается в новое глубокое ущелье.

В зависимости от места базирования группы возвращаются либо вверх по долине р. Освистанной, минуя ее прижимы перевалом через «мыс» высокого левого берега, с переходом на правый (по снежному мосту или вброд) и далее по ягодным полянам на потоке Горелого до лагеря у края его кальдеры (рис. 4); либо, поднявшись на «мыс», по полянам водораздела к северо-востоку до обширного снежника, а затем по нему к северу, до домика стационара НИГТЦ. От него, при необходимости, также несложно перейти до места лагеря у края кальдеры Горелого через снежник, скрывающий верховье р. Освистанной, и по тундре ее правобережья.



Нижний водопад на р. Вулканной, прорезающей поток вулкана Горелый
Lower waterfall on Vulkannaya river which cut through a flow of Gorely volcano



Вулкан Мутновский
Mutnovsky volcano

ВУЛКАН ГОРЕЛЫЙ

GORELY VOLCANO





Горелый — другой, ближайший к Мутновскому действующий вулкан Южной Камчатки. Расстояние между ними 15 км. При видимом сходстве их хребтообразных форм и типов деятельности в историческое время (фреатомагматические и вулканские извержения), эти вулканы существенно различаются предысторией и общим характером развития.

Постройка Горелого — линейный вулканический хребет длиной 3 км по гребню, вытянутый в субширотном, запад-северо-западном направлении. Он состоит из трех главных, длительно действовавших конусов (Горелый-1-3 и, соответственно, комплексы G на рис. 2), и более чем трех десятков конусов одноактных прорывов. Все сооружение располагается в обширной вулканотектонической впадине — кальдере, имеющей овальную, удлинённую к северо-западу форму и размеры по осям 9x13 км. В отличие от Мутновского, Горелый, таким образом, продолжает развитие более древнего вулканического центра. Его отличают также существенно меньшие высота (максимальная отметка — 1829 м), объём постройки (~ 25 км³), индекс эксплозивности (20-30 %) и, соответственно, крутизна склонов, а также повышенная текучесть лав. По этим признакам стратовулкан Горелый может быть отнесен к щитообразным, т. е. переходным по типу к пологим щитовым, существенно лавовым сооружениям.

Постройки Мутновского и Горелого ориентированы близко к одной линии северо-западного

направления, сопрягаясь в короткий ряд, поперечный основному, северо-восточному простиранию вулканических цепей Камчатки. Это указывает на их связь с некоей общей структурой магматической проницаемости земной коры. Однако на верхних ее уровнях современные Мутновский и Горелый разделены узкой непроницаемой, амагматичной зоной, а особенности состава извергаемого ими вещества свидетельствуют о самостоятельности питающих их глубинных магматических источников.

В противовес исключительно эксплозивной новейшей активности Мутновского, практически полностью сформировавшегося ко времени 7-8 тыс. лет назад, Горелый активно развивался и рос до настоящего времени, чередуя эксплозии с излияниями многочисленных и разнообразных лавовых потоков. Благодаря их молодости и свежести, Горелый, несколько проигрывающий Мутновскому в отношении ландшафтно-видового разнообразия, является прекрасным вулканологическим полигоном для получения представлений о характере истечения лав различной вязкости, их источниках и соотношениях последних с вулканотектоническими структурами, о внутреннем строении потоков, рельефе их поверхности и т. д.

Горелый относится к вулканам с чертами гавайского и исландского типов, где наряду с наиболее обычными потоками глыбовой (аа) лавы имеются и потоки маловязких лав типа пахо-эхоз, с участками характерных для них поверхностей волнистой, кишечной, канатной, «блинной»

Gorely is the other active volcano in Southern Kamchatka which is closest to Mutnovsky volcano. Distance between them is 15 km. With an apparent likeness of their ridged shapes and types of activity in historical time (phreato-magmatic and volcanic eruptions) these volcanoes differ considerably in prehistory and general mode of development.

Structure of Gorely volcano is a linear volcanic ridge of 3 km in length along the crest which stretches in sublatitudinal west-north-western direction. It consists of three main cones acted for a long time (Gorely-1-3 and, correspondingly, complexes G₁₋₃ in Fig. 2) and more than three tens of cones of one-act breakthroughs. The whole structure is located in extensive tectovolcanic basin — caldera having oval extended to the north-west shape and dimensions according to the axes 9x13 km. In contrast to Mutnovsky volcano Gorely volcano, thus, continues development of the more ancient volcanic centre. It is also notable for considerably lower height (maximum mark — 1829 m), volume of the structure (~ 25 km³), index of explosiveness (20—30%) and, correspondingly, steepness of flanks and heightened lava fluidity. According to these features strato-volcano Gorely can be referred to scutiform, i.e. transitional by the type to gently sloping shield, substantially lava constructions.

To counterbalance to exclusively explosive latest activity of Mutnovsky volcano which had formed practically completely by the time of 7—8 thousand years ago, Gorely volcano developed actively and grew up to the present time alternating explo-

sions with out-flows of numerous and various lava flows.

Gorely volcano is referred to the volcanoes with features of Hawaii and Iceland types where equally with the most usual flows of block-lava there are also flows of little viscous lavas as pahoehoe, with sections of typical for them surfaces of ropy, pahoehoe, corded lava, with lava pipes, hornitoes (secondary microvolcanoes on flows), warpings and whimsical hummocks-kekurs.

Pre-caldera volcanic structure, caldera of Gorely volcano and early Post-caldera complex of monogene volcanoes

Caldera occurred in the summit part of the complex pre-caldera volcanic structure — Pra-Gorely. It was, to all appearance, extensive many-discharged extrusively-lava complex (Fig. 2) with dimensions of about 12x25 km stretched in north-eastern direction. Peripheral parts of thick flows of andesitic and dacitic composition, separate extrusions, dykes and necks of dacites-rhyodacites, a number of the ancient adventive cones and flows of basalts and andesite-basalts which are chopped off with a scarp of caldera remained after it.

Caldera formed as a result of overhead stoping of large magmatic reservoir (chamber) intruded in the earth's crust, — as the reaction to its devastation by a series of immense eruptions of dacite-andesitic magma saturated with gas. They occurred through

лавы, с лавовыми трубами, горнитосами (вторичными микровулканчиками на потоках), валами коробления и причудливыми торосами-кекурами. Прекрасно выражены аппараты их извержений: кроме вершинных кратеров с обнаженными разрезами прижерловых частей вулкана, со следами лавовых озер и отложений лавовых фонтанов, имеется множество аппаратов побочных извержений — шлаковых конусов, лавовых бокк и зияющих трещин с дайковыми «корнями» потоков. Лавовые трубы на потоках, большей частью с обвалившимися кровлями, местами выражены в виде арок, останцов и протяженных таинственных пещер.

К сожалению, эти образования широко распространены по всей площади постройки вулкана и трудно охватываемы одним-двумя экскурсионными маршрутами во всем своем разнообразии.

Докальдерная постройка, кальдера вулкана Горелый и ранний посткальдерный комплекс моногенных вулканов

Кальдера возникла в вершинной части сложного докальдерного вулканического сооружения — Пра-Горелого. Это был, по всей видимости, обширный многовыходной экструзивно-лавовый комплекс (рис. 2) размерами около 12x25 км, вытянутый в северо-восточном направлении. От него сохранились обрубленные уступом кальде-

ры периферийные части мощных потоков андезитового и дацитового состава, отдельные экструзии, дайки и неkki дацитов-риодацитов, ряд древних побочных конусов и потоков базальтов и андезитобазальтов. В частности, к докальдерному периоду относится единственный эпизод прорыва магмы в зоне между Горелым и Мутновским, образовавшего две кулисообразно смещенные цепочки шлаковых конусов субафировых базальтов. Они вскрываются из-под игнимбритов у юго-восточного борта кальдеры и у подножия горы Двугорбой (рис. 2).

Кальдера образовалась в результате обрушения кровли крупного магматического резервуара (очага), внедренного в земную кору, — как реакции на его опустошение серией грандиозных извержений газонасыщенной дацит-андезитовой магмы. Они происходили через систему жерл и трещин в своде резервуара. По скорости выноса огромных масс магматического материала извержения подобного рода относятся к разряду крупнейших геологических катастроф. Порожденные ими пемзопады и пирокластические потоки (высокоподвижная взвесь разрывающейся магмы в выделяемых ею газах) сформировали многослойный покров пемзовых туфов и, главным образом, игнимбритов — их плотно спекшихся, «сваренных» аналогов, опознаваемых по характерной структуре со стекловатыми линзовидными выделениями — «фьямме». Пирокластические потоки (Q_1 на рис. 2) распространились на расстояние до 25—30 км от

the system of vents and fissures in reservoir. According to the high rate of loss of the enormous masses of magmatic material eruptions of this type are referred to the category of the largest geological catastrophes. They gave birth to the falls of pumice and pyroclastic flows (highly-mobile suspension of breaking magma in gases exhaled by it) which formed a multilayer covering of pumice tuffs and, mainly, ignimbrites — their tightly baked, «cooked» analogues identified according to the typical structure with glassy lens-shaped exhalations-«welded tuff». Pyroclastic flows (Q_3 in Fig. 2) distributed to the distance up to 25—30 km of eruption centre flooding and leveling the ancient relief up to the level of 1100 m near caldera, with gradual lowering when moving away. The area of their spread areal is evaluated in 600 km², thickness in lowerings of paleorelief — up to 400 m, volume — about 120 km³. Over the surface of slightly-inclined pumice-ignimbrite plateau outliers of pre-caldera structures exceeding its level come out like «islands».

Formation of caldera is dated by the time of about 38—40 thou. years ago according to the ratios between ignimbrites from Gorely volcano and analogous and subsimultaneous to them deposits from caldera of Opala volcano in the west. The last ones have corresponding radiocarbon dating due to remains of vegetation buried by them.

Outburst of the large portion of dacitic pumices (Q_3 in Fig. 2) precipitated within caldera and on external flanks at north-western half of its perimeter was the last in a series of caldera-forming eruptions.

Additional subsidence of north-west part of caldera bottom is supposedly connected with their eruption.

For a long time newly formed caldera represented a lake reservoir, and later, in epoch of the last glaciation (25—10 thou. years ago) — large ice reservoir.

A new (early post-caldera) stage of Gorelovsky volcanic centre activity coincided with the epoch of glaciation. It was expressed in polyorifice volcanicity structurally bounded with a ring suture of caldera. Its formations are presented with a broken chain of monogene (having acted in one-act way) volcanic apparatuses — basalt-andesitic cinder cones with lava flows or (more often) without them, dacitic extrusions, volcanic necks and flows located exactly on the crest of caldera scarp, at its foots or at a small distance on external flanks of caldera.

Current Gorely volcano

Gorely volcano began its activity in glacial time also through a glacier. Evidently, a peculiar mounting of its two early cones — western (Gorely-1) and middle (Gorely-2) — which have steep precipitous scarps of 80-100 m in height at the foots and flooded with lavas of young eruptions is connected with this circumstance. It is supposed, that their origin is conditioned by crawling of frontal parts of lava flows against the glacier which spreaded slowly and took them down, and with its melting — submersion of displaced fragments and their burial by current lake deposits.

центра извержений, затапливая и нивелируя древний рельеф до уровня 1100 м вблизи кальдеры, с постепенным снижением на удалении. Площадь ареала их распространения оценивается в 600 км², мощность в понижениях палео-рельефа — до 400 м, объем — порядка 120 км³. Над поверхностью слабо наклонного пемзо-игнибритового плато «островами» выступают превышающие его уровень останцы докальдерных сооружений.

Образование кальдеры датировано временем около 38—40 тыс. лет назад по соотношениям гореловских игнибритов с аналогичными и субодновременными им отложениями кальдеры вулкана Опала на западе. Последние имеют соответствующую радиоуглеродную датировку по остаткам погребенной ими растительности.

Последним в серии кальдероформирующих извержений был выброс крупной порции дацитовых пемз (Q_4^+ на рис. 2), отложившихся в пределах кальдеры и на внешних склонах у северо-западной половины ее периметра. С их извержением предположительно связывается дополнительная просадка северо-западной части кальдерного днища.

Кальдера, как отмечалось, имеет овальную в плане форму и размеры 9x13 км. Высота ограничивающих ее уступов над современным уровнем заполняющих впадину отложений достигает 250—300 м, истинная же глубина обрушения, несомненно, значительно превышает эти величины. Границы структуры, при общей их округлос-

ти, местами имеют прихотливые фестончато-заливчатые очертания, отличающие кальдеру Горелого от многих подобных структур с обычными округло-воронкообразными формами; для них можно предполагать комбинированный, взрыво-провальный механизм образования. Кальдера Горелого — типичная структура обрушения так называемого типа Кракатау, ограниченная крутопадающими дугowymi разломами-сбросами. Довольно редким подтверждением этому является описываемая ниже магматическая проницаемость отдельных участков граничного шва кальдеры.

Новообразованная кальдера длительное время представляла собой озерный водоем, а позднее, в эпоху последнего оледенения (25—10 тыс. лет назад) — крупное вместилище льда. Через пониженные участки борта ледовый панцирь растекался длинными языками по долинам, крупнейшие из которых прорезали игнибритовое плато к югу (общая долина рек Мутной и Освистанной) и северо-западу (урочище Мыс Кекурный) от кальдеры.

С эпохой оледенения совпал новый (ранний посткальдерный) этап активности Гореловского вулканического центра. Он выразился многовыходным вулканизмом, структурно связанным с кольцевым швом кальдеры. Его образования представлены прерывистой цепью моногенных (одноактно действовавших) вулканических аппаратов — базальт-андезитовых шлаковых конусов с лавовыми потоками или (чаще) без них,

Gorely-1 volcano

Gorely-1 volcano is formed by the rocks of basalt-andesitic line. Its open western half is moderately eroded, coeval to it apparatuses of adventive eruptions are absent on flanks. Activity of Gorely-1 volcano ended with large pyroclastic eruption which covered its flanks with torulose mantle of bombblock andesitic agglomerate with a thickness up to 25—30 m. Formation of the large (~ 0,7x1,4 km) oval crater with the edge beveled to the east which crowns the cone is connected with this eruption. Lower eastern half of its crest and bottom are overlapp-ed with volcanites from Gorely-2 volcano. Horseshoe-shaped outlier of western part of the crest rises above the bottom for 80—90 m, its maximum absolute height is 1763 m. In the scarp under covering of agglutinate andesitic flows crop out in interbedding with a moderate amount of pyroclastic material, in the middle of «horseshoe» — intersecting body (volcanic neck) of andesites, at the scarp foot — later destructed one-act cone formed by cinders of andesite-basalts rich in olivine.

Gorely-2 volcano

Vent of Gorely-2 volcano laid at the low eastern edge of Gorely-1 crater described earlier. Its current height is 1829 m. The most ancient flows of its main cone which expose on the surface and some side breakthroughs have an age of 9,2—9,5 thou. years. Thus, Gorely-2 volcano formed at the end of the last

stage of glaciation and in the beginning of post-glacial, Holocene epoch. Further it periodically renewed its activity being active after formation of Gorely-3 volcano also, up to the current stage. With its formation a tendency of reciprocating displacement of centre of structure activity was formed in development of the whole structure. At late, mature stage development of Gorely-2 volcano was accompanied by a great number of side magma outbursts on its flanks and at foots, and through died out structure of Gorely-1 volcano also. Composition of rocks from Gorely-2 volcano varies within wider range, from basalts to dacites.

Structure of Gorely-2 volcano is crowned with a compact group of so-called nested craters which appeared consecutively one inside the other or laid on the previous ones with more or less displacement (Fig. 2,5). According to the relations between shapes of their crests and complexes of filling deposits 6 large explosive craters of 500—700 m in diameter are distinguished, and a number of more shallow funnels of collapse also. A narrow (90—100 m) well-like explosive crater acting now which was gradually filled with a hot lake is telescopically «put in» more extensive early crater of sink. The most eastern crater with a depth of about 200 m contains a cold lake waters of which have acid reaction.

Remains of complexes of filling of the earlier craters demonstrate obviously a cyclic character of Gorely-2 volcano activity at this stage. Flat-bedded bands of fragmental product and lavas representing remains of lava cauldrons which existed here in

дацитовых экструзий, жерловин и потоков, располагающихся прямо на гребне кальдерного уступа, у его подножий или на небольшом удалении на внешних склонах кальдеры (сопка Красная и др., $Q_3^{мт}$ на рис. 2). Активность этого этапа следовала вскоре за извержением описанных выше пемз, подстилающих моногенные постройки без существенного эрозионного расчленения.

Современный вулкан Горелый

Вулкан Горелый начал действовать также еще в ледниковое время, сквозь ледник. Видимо, с этим обстоятельством связано своеобразное оформление двух его ранних конусов — западного (Горелый-1) и среднего (Горелый-2), имеющих у подножий крутые, обрывистые уступы высотой 80—100 м, частично залитые лавами молодых извержений. Предполагается, что их происхождение обусловлено наплывом фронтальных частей лавовых потоков на медленно растекавшийся и сносивший их ледник, а с его таянием — погружением перемещенных фрагментов и погребением их современными озерными отложениями.

Основные события позднейшей истории вулкана Горелый, в постледниковое, голоценовое время, датированы тефрохронологическим методом. Он основан на вскрытии (раскопах) у подножий вулканов отложений тефры (пеплов, шлаков, пемз), накапливавшейся за все время их

деятельности, и радиоуглеродных датировках погребенных ими остатков былой растительности (обугленной древесины, почв), развивавшейся в перерывах между извержениями. На более молодых элементах вулканических построек (потоках, конусах и т. п.) количество прослоев в таких «почвенно-пирокластических чехлах» оказывается соответственно сокращенным. Сопоставление разрезов чехла на разных частях вулканической постройки с общим для всего вулкана позволяет воссоздать хронологию его развития и изменений режима деятельности во времени. К сожалению, в районах, подвергавшихся оледенениям, чехлы древнее последних 10—11 тыс. лет не сохраняются.

Вулкан Горелый-1

Горелый-1 сложен породами базальт-андезитового ряда. Его открытая западная половина умеренно эродирована, одновозрастные ему аппараты побочных извержений на склонах отсутствуют, за исключением воронок фреатических взрывов на андезитовом потоке северо-западного подножия. Деятельность Горелого-1 завершилась крупным пирокластическим извержением, покрывшим его склоны бугристым плащом бомбового андезитового агломерата мощностью до 25—30 м, местами спекшегося до образования текучих лавоподобных разностей. По-видимому, с этим извержением связано образование венчающего конус крупного (~ 0.7х 1.4 км) овального



кратера со скошенной к востоку кромкой. Более низкая восточная половина его гребня и днище перекрыты вулканитами Горелого-2. Подковообразный останец западной части гребня возвышается над днищем на 80—90 м, его максимальная абсолютная высота — 1763 м. В уступе под покровом агглютината обнажаются андезитовые потоки в переслаивании с умеренным количеством пирокластического материала, в середине «подковы» — секущее тело (жерловина) андезитов, а у подножия уступа — более поздний разрушенный одноактный конус, сложенный шлаками богатых оливином андезито-базальтов.

Вулкан Горелый-2

Жерло Горелого-2 заложилось у низкого восточного края описанного кратера Горелого-1. Современная высота его составляет 1829 м. Древнейшие из обнажающихся на поверхности потоков его основного конуса и некоторых побочных прорывов имеют возраст 9,2—9,5 тыс. лет. Горелый-2, таким образом, формировался в конце последней фазы оледенения и в начале послеледниковой, голоценовой эпохи. В дальнейшем он периодически возобновлял свою деятельность, сохраняя активность и после образования Горелого-3, вплоть до современного этапа. С его формированием в развитии всей постройки установилась тенденция возвратно-поступательного перемещения центра ее активности. Это отразилось в заметной субширной

вытянутости и его постройки, в которой нечетко различимы три составляющих ее конуса (рис. 5). На поздней, зрелой стадии развитие Горелого-2 сопровождалось множеством побочных прорывов магмы на его склонах и у подножий, а также через отмершую постройку Горелого-1. Состав пород Горелого-2 варьирует в более широком диапазоне: от базальтов до дацитов.

Постройку Горелого-2 венчает компактная группа так называемых гнездовых кратеров, последовательно возникавших один внутри другого или налагавшихся на предшествующие с большим или меньшим смещением (рис. 2, 5). По соотношениям форм их гребней с комплексами заполняющих отложений выделяются 6 крупных взрывных кратеров диаметрами 500—700 м, а так же ряд более мелких провальных воронок. Ныне действующий узкий (90—100 м) колодеобразный эксплозивный кратер, постепенно заполнявшийся горячим озером, телескопически «вложен» в более обширный ранний кратер провала. Самый восточный кратер глубиной около 200 м содержит холодное озеро, воды которого имеют кислую реакцию.

Отмеченная трехконусность Горелого-2 указывает на возможность заполнения каждого предшествующего кратера отложениями из рядом вырвавшегося нового конуса, чему, однако, противоречит отсутствие соответствующего наклона заполняющих слоев. Вся группа вершинных кратеров, по-видимому, формировалась на более поздней стадии, по достижении вулканом

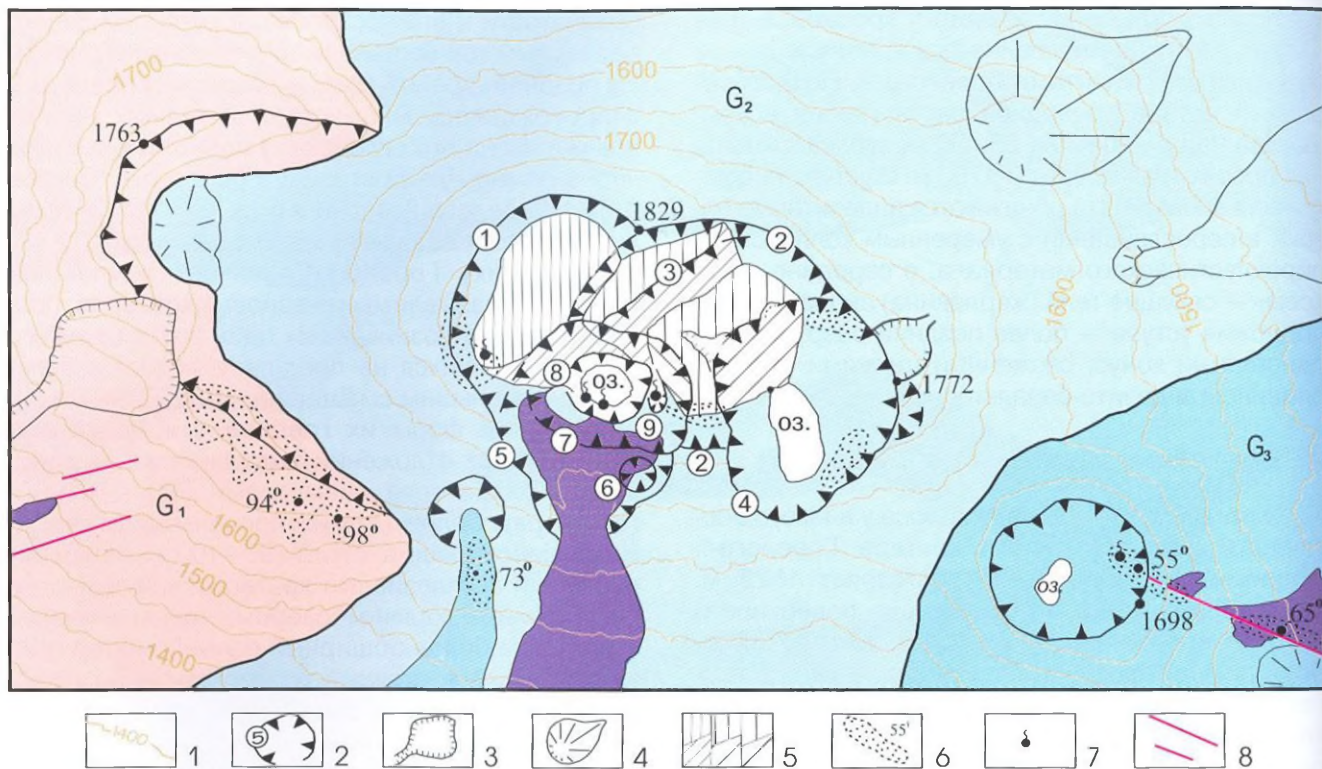


Рис. 5

Геолого-морфологическая схема вершинной зоны в. Горелый
 1 — изолинии рельефа; 2 — кратеры в. Горелый-2 и их номера от ранних к поздним; 5 — бровки эрозионных рытвин и барранкосов; 6 — шлаковые конусы побочных прорывов; 7 — комплексы заполнения кратеров Горелого-2; 8 — термальные площадки и значения температур их разогрева в 1980 г.; 9 — трещины.

Цветом и индексами G₁₋₃ показаны комплексы вулканитов основных конусов, составляющих постройку в. Горелый (Горелый 1 — 3) и молодых излияний, соответственно карте рис. 2.

Fig. 5

Geologic-morphological scheme of the summit zone of Gorely volcano.

1 — relief isolines; 2 — craters of Gorely-2 volcanoes and their numbers from early to late; 5 — brows of the erosional grooves and barrancoes; 6 — cinder cones of side breakthroughs; 7 — complexes of filling of the Gorely-2 volcano craters; 8 — thermal areas and temperature values of their heating in 1980; 9 — fissures. By colour and indexes G₁₋₃ complexes of volcanites of main cones which form the structure of Gorely volcano (Gorely-1-3) and young outflows, Fig. 2 according to the map.

предельной для него высоты и исчерпанию возможностей роста.

Остатки комплексов заполнения более ранних кратеров наглядно демонстрируют циклический характер деятельности Горелого-2 на этой стадии. Поверх слоев, облегающих днища и основания стенок этих кратеров, залегают горизонтально-слоистые пачки обломочного материала и лав, представляющих остатки некогда существовавших здесь лавовых озер (одно из них — в юго-западном кратере — послужило, в частности, истоком последнего крупного излияния на южный склон постройки в XVIII в.). Это свидетельствует о резко контрастном характере динамики вулканизма позднего этапа: каждый цикл начинался мощным взрывным или пирокластическим извержением, формировавшим чашу кратера, после чего наступал период более слабой эксплозивной и чисто эффузивной активности с постепенным его заполнением. Последнее, однако, не только не восстанавливало первичную высоту конуса, но даже не достигало краев кратера; более того, уровень заполнения каждого последующего кратера оказывался ниже, чем у предыдущего (единственное исключение — вовсе не заполнявшийся восточный кратер). Таким образом, в условиях предельной высоты конуса вулканизм продолжается как чередование его деструктивной (разрушение части постройки) и конструктивной (частичное восстановление) составляющих. Другим способом «выживания» вулкана оказывается смещение его

магмовыводящего жерла на более низкий высотный уровень, т. е. миграция канала.

Описанная цикличность вулканической деятельности отражает крупномасштабное перераспределение газовых компонентов магмы в питающей системе вулкана, действующей как своеобразный сепаратор газо-магматической смеси. В течение длительных периодов покоя газы обогащают ее верхние уровни, обуславливая бурное эксплозивное начало каждого цикла, с последующим более спокойным извержением нижних, обедненных газами порций магмы.

Такой вывод в известной мере альтернативен определению исторических вершинных извержений Горелого как преимущественно фреатических, движущей силой которых являются не столько собственные газы магмы, сколько парообразование при ее контакте с грунтовыми водами. Видимо, правильнее их квалифицировать как ультравулканические, имея в виду основную роль все-таки магматических газов. Подтверждением этому является и тот факт, что побочные извержения, происходившие в наиболее обводненных зонах подножий вулкана, формировали обычные шлаковые конусы, без характерного для гидромагматизма выноса раздробленных пород фундамента и без образования таких типичных для него форм, как маары.

Вулкан Горелый-3

Горелый-3 образовался на юго-восточном склоне Горелого-2 около 6,5 тыс. лет назад. Это

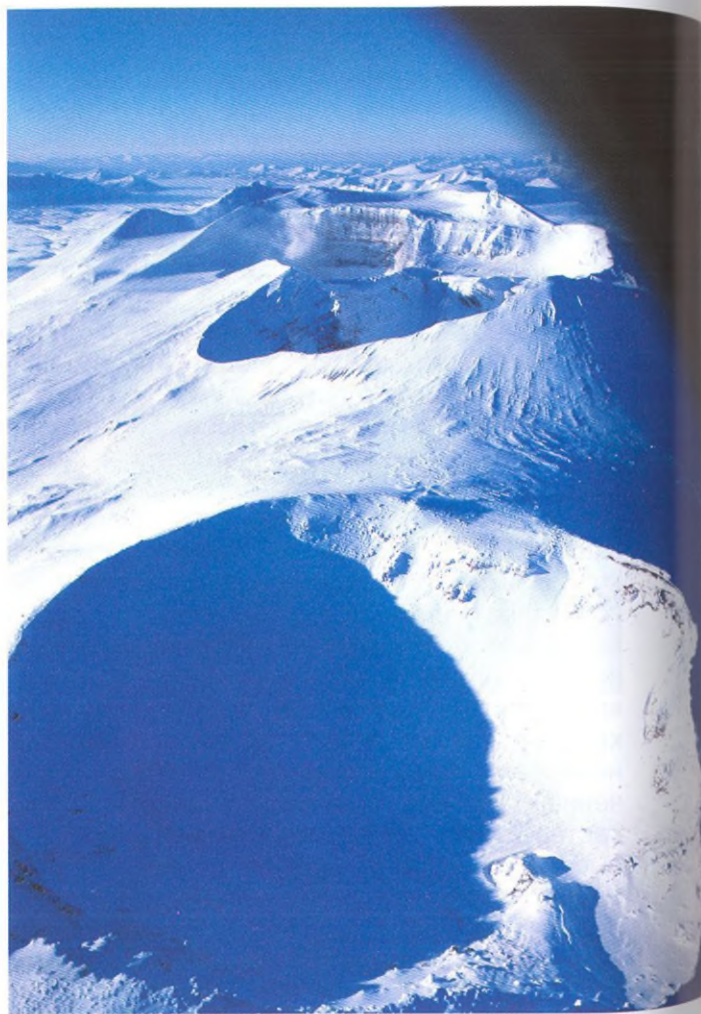
former times occur over the layers enveloping the bottoms and wall basements of these craters. (One of these lava cauldrons— in south-western crater — was, in particular, a source of the last large outflow to

the southern flank of the structure in XVIII century). This is the evidence of distinctly contrasting character of volcanism dynamics of the late stage: each cycle began with a powerful explosive or pyroclastic eruption which formed bowl of the crater, then a period of poorer explosive and purely effusive activity with its gradual filling came.

The cyclic recurrence of volcanic activity described reflects a large-scale redistribution of magma gas components in the feeding system of the volcano. During the long periods of rest gases enrich its upper levels conditioning the rapid explosive beginning of every cycle with the following more calm eruption of low portions of magma impoverished by gases.

Gorely-3 volcano

Gorely-3 volcano formed at south-eastern flank of Gorely-2 volcano about 6.5 thou. years ago. It is the lowest (1698 m) and low-volume, as if under-developed, cone in common structure of the volcano. On its summit there is a crater of 500 m in diameter and up to 180 m in depth which contains a cold lake. Cone is formed with lavas and pyroclastic of andesite-basaltic composition. A number of apparatuses of side breakthroughs (cinder cones, lava boccas) which were the sources of large lava flows is located on its flanks.



Вершина Горелого. Аэроснимок с востока. На переднем плане — кратер Горелого-3
Summit of Gorely volcano. Aerophoto from the east. In the foreground crater of Gorely-3 volcano

самый низкий (1698 м) и малообъемный, как бы недоразвившийся конус в составе общей постройки вулкана. На вершине его имеется кратер диаметром 500 и глубиной до 180 м, содержащий холодное озеро. Конус сложен лавами и пирокластикой андезито-базальтового состава. На его склонах размещается ряд аппаратов побочных прорывов (шлаковые конусы, лавовые бокки), бывших источниками крупных лавовых излияний.

Магмопроводящая структура вулкана. Побочные прорывы и рифтовая зона

Магмопроводящая структура Горелого относится к смешанному типу, сочетающему типы центральный и трещинный. Первый представляет систему трубообразного канала с возможными раздувами-очагами, формирующуюся на первичном трещинном магмоводе. Являясь наиболее устойчивой к теплопотерям, такая система длительное время сохраняет изменяющую свой состав магму и способность к ее проводимости. Тем самым обеспечивается многократность извержений из пространственно стабильных центров и рост вулканических конусов до предельного (гидростатического) уровня подъема магмы. С приближением к нему новые пополнения системы очаг-канал глубинной магмой все чаще создают трещинообразующие напряжения в постройке, реализуемые побочными прорывами. Из-за быстрого отвердевания магмы в тонких

трещинных проводниках они, как правило, действуют однократно, и новые прорывы происходят через новые трещины.

На вулкане Горелый-1, как отмечалось, отсутствуют синхронные ему аппараты побочных извержений. Все наблюдаемые прорывы, в том числе и расположенные на склонах Горелого-1, относятся ко времени деятельности двух последних конусов вулкана.

По своей структурной позиции все прорывы разделяются на три группы (рис. 2): 1) эксцентричные (не связанные с каналом вулкана), приуроченные к кольцевому шву кальдеры и блока ее отмеченной дополнительной просадки; 2) собственно побочные («паразитические»), расположенные на склонах Горелого-2; 3) приуроченные к пересекающей вулкан разветвленной трещиной (рифтовой) зоне.

Прорывы первой группы образуют кольцевой ансамбль шлаковых конусов с лавовыми потоками, повторяющий очертания северо-западной половины кальдерного уступа и маркирующий, вероятно, границу предполагаемой дополнительной просадки кальдеры с юго-востока. Считается, что магма эксцентричных прорывов поднимается непосредственно от питающего вулкан малогабаритного резервуара (очага); в таком случае их кольцевой комплекс может приблизительно соответствовать проекции этого очага на поверхность.

Проводниками магмы собственно побочных прорывов являются трещины-ответвления центрального канала вулкана. На Горелом большин-

Magma-conducting structure of the volcano.

Side breakthroughs and rift zone.

Magma-conducting structure of Gorely volcano is referred to the mixed type combining the central and fissure types. The first type represents a system of pipe-like canal with possible bulges-focuses which forms on the primary fissure magma-conductor. Being the most resistant to heat losses, such system for a long time preserves magma changing its composition and capacity for its conductivity. So, recurrence of eruptions from dimensionally stable centres and growth of volcanic cones to the limit (hydrostatic) level of magma rise are provided. With approaching to it new replenishments of focus-canal system with abyssal magma make more often fissure-forming stresses in the structure realized by side breakthroughs. Because of rapid magma hardening in thin fissured leaders they, as a rule, act once, and new breakthroughs occur through new fissures. All observed breakthroughs, including ones located on the flanks of Gorely-1 volcano, are referred to the time of activity of two last cones of the volcano.

According to its structural position breakthroughs are divided into three groups (Fig. 2): 1) eccentric (not connected with a canal of volcano) confined to the ring suture of caldera and block of its marked additional subsidence; 2) side («parasitic») proper located on the flanks of Gorely-2 volcano; 3) confined to the branched fissure (rift) zone crossing the volcano.



Уступ кальдеры Горелого и цепочка прорывов в северо-западной ветви рифтовой зоны
Caldera scarp of Gorely volcano and chain of breakthroughs in the north-western branch of the rift zone

ство таких прорывов связано с деятельностью его наиболее высокого и зрелого конуса Горелый-2. На его склонах наблюдаются как одиночные шлаковые конусы с потоками, так и группы прорывов одного извержения, связанные с протяженными радиальными трещинами, — иногда со шлаковыми конусами в их верхней части и выходами (бокками) одной лишь лавы внизу.

Прорывы, приуроченные к трещинной системе, располагаются на склонах недействующих вулканов Горелый-1 и 3, а также за пределами вулкана и кальдеры. Они локализованы вдоль пересекающей весь вулкан с юго-запада на юго-восток дугообразной системы трещин, а также ее короткого северо-западного ответвления на склоне Горелого-1 (рис. 2) Юго-восточный отрезок системы ранее контролировал смещение главного канала вулкана, обусловившее его хребтообразную форму.

Начало развития трещинной зоны относится к доголоценовому, ледниковому времени. Тогда, в частности, возникла живописная постройка прорыва Динозавр на внешнем юго-западном склоне кальдеры — крутосклонная пилообразная гряда из вулканических бомб и шлаков, сформировавшаяся в результате трещинного извержения внутри ледникового покрова. Позднее в полосе трещинной системы произошло множество существенно эффузивных извержений. Их аппараты представлены шлаковыми конусами, лавовыми куполами и бокками как за пределами кальдеры, так и внутри нее, на западном и восточном

склонах вулкана. Роль трещинной системы как элемента магмопроводящей структуры вулкана возростала с течением времени, и если на ранних этапах извержения в ней еще чередовались с независимой эффузивной деятельностью вершинных кратеров, то два последних в истории Горелого эпизода обильных лавовых излияний связаны исключительно с трещинной зоной.

Около 3 тыс. лет назад один за другим излились крупнейшие андезито-базальтовые потоки: поток урочища Мыс Кекурный из конуса на трещине северо-западного склона Горелого-1 и многоорукавный поток из подковообразного конуса на восточном склоне Горелого-3.

Последнее грандиозное излияние лав на вулкане Горелом произошло, по тефрохронологическим данным, около 250 лет назад. По-видимому, это отмеченное С. П. Крашенинниковым извержение 1737 г. На этот раз активизировались по всей длине юго-восточная и юго-западная ветви трещинной системы. Излияниями лавы была охвачена вся постройка вместе с вершинным кратером Горелого-2. Это было длительное извержение из расслоенной по составу магматической камеры. Крупные потоки характерных черных крупнопорфировых андезитов вытекали из зияющих трещин на склонах вулканов Горелый-3 и 1, затем подобного же облика андезито-базальты из лавового озера, образовавшегося в вершинном кратере Горелого-2, но особенно обильно — из прорывов в закальдерной части юго-западной ветви трещинной зоны. Из шлаковых конусов в ее

Возрастной комплекс <i>Age complex</i>	№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	Сумма <i>Sum</i>
Докальдерный комплекс <i>Pre-caldera complex</i>	1	67.84	0.67	16.00	1.14	2.01	0.08	0.60	2.42	5.02	3.26	0.24	0.25	0.12	99.65
	2	52.00	1.36	17.49	3.38	6.35	0.18	5.19	9.18	3.23	0.96	0.12	0.12	0.37	99.63
Кальдерообразующие извержения <i>Caldera-forming eruptions</i>	3	61.68	1.21	16.90	2.21	3.76	0.18	1.84	3.64	4.73	0.15	0.50	1.05	0.42	100.27
	4	65.21	1.14	15.18	2.15	2.67	0.15	1.10	3.40	4.76	3.05	0.20	—	0.30	100.41
Горелый-1 <i>Gorely-1</i>	5	53.32	1.42	17.35	2.32	6.29	0.14	4.48	8.88	3.18	1.78	0.04	0.14	0.34	99.68
	6	57.54	1.32	16.28	2.28	5.89	0.15	2.64	6.40	3.99	2.21	0.44	0.30	0.34	99.78
Горелый-2 <i>Gorely-2</i>	7	51.88	1.18	17.62	3.72	5.69	0.19	5.48	8.68	3.14	1.29	0.28	0.15	0.27	99.57
	8	59.78	1.43	15.42	1.64	6.29	0.15	2.06	5.20	3.81	3.05	0.23	0.13	0.44	99.63
	9	55.40	1.25	17.04	2.18	6.49	0.19	4.08	6.80	3.46	1.97	0.25	0.22	0.43	99.76
Горелый-3 <i>Gorely-3</i>	10	53.38	1.24	16.60	2.23	6.87	0.19	6.24	7.58	3.24	1.72	0.34	—	0.32	99.99
Рифтовая зона <i>Rift zone</i>	11	58.55	1.51	16.46	1.58	6.71	0.15	2.56	6.14	3.50	2.70	0.16	—	0.47	100.49
	12	52.98	1.16	17.14	2.82	6.41	0.15	5.66	8.50	3.08	1.29	0.02	0.12	0.28	99.61

1 — дацитовая лава в основании западного борта кальдеры; 2 — базальт группы докальдерных побочных прорывов у юго-восточного борта; 3 — андезитовый игнимбрит второго снизу горизонта толщи, овраг Опасный; 4 — игнимбрит дацитового состава, северо-западное подножие вулкана Мутновский; 5 — поток андезито-базальта в уступе юго-западного подножия Горелого-1; 6 — андезитовый агглютинат привершинной части западного склона Горелого-1; 7 — базальт вершины вулкана (отм. 1829 м); 8 — андезит северо-восточного склона Горелого-2; 9 — андезито-базальт толщи заполнения западного кратера Горелого-2; 10 — андезито-базальт восточного склона Горелого-3; 11 — андезит трещинного прорыва в восточной ветви рифта, восточный склон Горелого-3; 12 — базальт потока в закальдерной юго-западной ветви рифтовой зоны.

1 — dacitic lava in the basement of the western flank of caldera; 2 — basalt of the group of pre-caldera side breakthroughs at south-eastern flank; 3 — andesitic ignimbrite of the second from the bottom rock mass horizon, Opasny ravine; 4 — ignimbrite of dacitic composition, north-western foot of Mutnovsky volcano; 5 — andesite-basalt flow in a scarp of south-western foot of Gorely-1 volcano; 6 — andesitic agglutinate of near-summit part of the western flank of Gorely-1 volcano; 7 — basalt from the summit of volcano (mark - 1829 m); 8 — andesite from the north-eastern flank of Gorely-2 volcano; 9 — andesite-basalt from the strata of filling the western crater of Gorely-2 volcano; 10 — andesite-basalt from the eastern flank of Gorely-3 volcano; 11 — andesite from fissure breakthrough in the eastern branch of rift, eastern flank of Gorely-3 volcano; 12 — basalt of the flow in the south-western branch of rift zone which is beyond the bounds of caldera.

самом низком месте (в 9 км от вершины вулкана) излился крупнейший поток этого извержения, распространившийся на 20 км по долинам руч. Ключ Кекурный и р. Левая Опала. В результате оттока магмы произошел провал вершинного кратера Горелого-2, а в районе шлаковых конусов — проседание окружающей поверхности на 6—8 м в полосе длиной 5,5 и шириной 0,2—0,5 км (подобные структуры и называются вулканическими грабенами, или рифтами).

Состав пород вулкана Горелый

По химическому и минеральному составу вулканы Горелого представляют ассоциацию генетически родственных пород (эволюционную серию) от базальтов до риодацитов. Подавляющая масса пород среднего-кислого состава сосредоточена в докальдерных образованиях и в отложениях кальдерообразующих извержений. В современной постройке преобладают промежуточные андезито-базальтовые разности. От пород Мутновского вулкана породы Горелого отличаются пониженными глиноземистостью, железистостью и заметно повышенной щелочностью (особенно содержанием K_2O), что вписывается в общую тенденцию изменения этих признаков с удалением вулканов от океана. Серия Горелого не обнаруживает обычного для приокеанских вулканов абсолютного накопления железа в породах и по этому признаку относится к так называемому извест-

ково-щелочному типу. Характерные составы пород из разных возрастных комплексов вулкана приведены в таблице 4.

Минеральный состав вулканитов Горелого, в большинстве своем порфириновых, соответствует особенностям их химизма. Вкрапленники в базальтоидах представлены кальциевым плагиоклазом, оливином, клинопироксеном (авгитом) и редкой хромистой шпинелью. В породах среднего-кислого состава среди порфириновых выделений присутствуют более натровый плагиоклаз, два пироксена (авгит и гиперстен) и титаномагнетит. Большинство пород промежуточных составов — андезито-базальтов и андезитов — обнаруживают минералогические признаки происхождения за счет смешения магм контрастных составов, базальтового и андезит-дацитового. Это выражается совместным присутствием отмеченных ассоциаций вкрапленников и зачастую неоднородностью несущего их гибридного расплава (т. е. основной массы породы).

Совокупность химических и минералогических свойств вулканитов серии Горелого показывает, что наблюдаемое в ней разнообразие пород обусловлено тремя главными процессами: кристаллизацией исходных базальтов с разделением минералов и остаточных расплавов (кристаллизационной дифференциацией), сопровождаемой, по всей видимости, частичной ассимиляцией, усвоением пород основания вулкана, а также смешением магм разных стадий дифференциации.

Breakthroughs of the first group form a ring ensemble of cinder cones with lava flows which repeats the contours of north-western half of caldera scarp and marks, probably, the boundary of supposed additional subsidence of caldera from south-east. There is an opinion, that magma of eccentric breakthroughs rises directly from the small-depth reservoir feeding the volcano.

Magma conductors of side breakthroughs proper are fissures-branches of the central canal of volcano. At Gorely volcano most part of such breakthroughs are connected with activity of its highest and the most mature cone Gorely-2. Both single cinder cones with flows, and groups of breakthroughs of one eruption connected with extensive radial rifts — sometimes with cinder cones in their upper part and discharges (boccas) of lava only below — are observed on its flanks.

Breakthroughs confined to fissure system are located on the flanks of inactive volcanoes Gorely-1 and 3, and besides, beyond the limits of volcano and caldera. They are localized along arched system of joints intersecting the whole volcano from south-west to south-east and its short north-western branch on the flank of Gorely-1 volcano (Fig. 2).

The beginning of the fissure zone development is referred to Pre-Holocene glacial time. At that time, in particular, a picturesque structure of Dinosaur breakthrough appeared on external south-western flank of caldera — steeply-sloped serrate ridge of volcanic bombs and cinders which had formed as a result of fissure eruption inside ice sheet. The role of fissure

system as an element of magma-conducting structure of volcano increased with time. And if at early stages of eruptions there were alternations in it with independent effusive activity of summit craters, then two episodes of abundant lava flows last in the history of Gorely volcano were connected with the fissure zone exclusively.

About 3 thou. years ago the largest andesite-basalt flows flowed out one after the other: flow of Mys Kekurny valley from the cone on fissure of north-western flank of Gorely-1 volcano and many-branched flow from the horseshoe-shaped cone on the eastern flank of Gorely-3 volcano.

According to the tephrochronological data, the last immense lava flow at Gorely volcano took place about 250 years ago. Obviously, it is an eruption in 1737 marked by Krashennikov S. P. This time south-eastern and south-western branches of fissure system became active along the whole length. The whole structure was enveloped in lava flows including the summit crater of Gorely-2 volcano. It was long eruption from magma pocket laminated due to composition. Large flows of typical black magnophyric andesites flowed out from the gaping fissures on the flanks of Gorely-3 and 1 volcanoes, then — andesite-basalts of the same look from lava cauldron that had formed in the summit crater of Gorely-2 volcano, but especially abundantly — from the breakthroughs in the part of south-western branch of fissure zone which was beyond the bounds of caldera. The largest flow of this eruption which spreaded for 20 km along the valleys of Klyuch Kekurny brook and Levaya



Характер извержения вулкана Горелый зимой 1984-1985 гг.
Mode of eruption of Gorely volcano in winter of 1984-1985



Газопепловый шлейф извержения
Gas-ash train of the eruption

Современная активность вулкана Горелый

В географической, краеведческой и вулканологической литературе отмечены извержения Горелого 1828, 1832, 1855, 1869, 1929, 1930, 1931, 1947, 1961 годов. Разные по мощности, все они имели эксплозивный характер и были приурочены к вершинным кратерам на Горелом-2. Их газопепловые шлейфы распространялись на расстояния до 150—200 км, в зависимости от направления и силы ветров. В периоды между извержениями вулкан обычно находился в состоянии умеренной фумарольной деятельности. Последние, подробно изучавшиеся извержения Горелого имели место в 1980-е годы.

Извержение, происходившее с июня 1980 г. до июля 1981 г., предварялось усилением фумарольной активности. Мощное истечение раскаленных газов из жерл на дне колодцеобразного кратера высушило существовавшее в нем озерко, а затем стало сопровождаться взрывами с выбросами материала постройки. В дальнейшем извержение приобрело длиннопериодно-пульсирующий характер, при чередовании парогазовых и фреатических взрывов с вулканскими выбросами на этапах максимальной активности. На поверхность выносился, главным образом, вулканический песок и резургентные пеплы, покрывшие площадь до 500 км, в меньшем количестве — крупные обломки старых пород вулкана и бомбы свежих (ювенильных) андезито-базальтов. Общее коли-



чество извергнутого материала оценено приблизительно в 65 млн т, суммарный вынос энергии ~ $6 \cdot 10^7$ эрг.

Последнее извержение Горелого развивалось со второй половины 1984 г. и продолжалось до конца 1986 г. В целом оно имело характер, подобный вышеописанному, и характеризовалось шестью периодами усиления, когда высота эруптивной колонны порой превышала 3000 м. Эти пароксизмы прерывались этапами слабой паровой эмиссии.

Основную движущую роль в эксплозивных извержениях Горелого играют водяные пары и газы, среди которых в наиболее существенных количествах присутствуют H_2S , HF , $HC1$ и SO_2 . Воды атмосферных осадков, фильтровавшиеся через пеплы последних извержений, имели ультракислый состав с $pH < 1$. Огромные количества тонких пеплов, адсорбировавших активные химические соединения, сносятся со склонов вулкана в р. Мутную и далее к побережью океана.

Извержениям Горелого предшествует разогрев вершинной части вулкана, проявляющийся повышением температуры газов и грунта на существующих термальных площадках, расширением этих площадок и проявлением разогрева на дотоле холодных (ранее остывших) участках. На рис. 5 для примера показано положение тепловых аномалий вулкана, зафиксированное И. Т. Кирсановым на одном из максимумов их активности, в начале извержения 1980 г. В выходах пара на юго-западном склоне вулкана, помимо атмосферного

воздуха и водяного пара, содержались, по данным Е. А. Вакина с соавторами, 88 % CO_2 , 7 % H_2 , 2 % H_2S , галогеноводороды и сернистый газ отсутствовали. Характерно, что разрастание теплового поля вулкана перед извержениями центрального типа (из вершинного кратера) подчиняется линейной ориентировке и локализуется в полосе кратеров и трещин рифтовой системы, указывая на постоянное взаимодействие центрального и трещинного элементов его магмопроводящей структуры. Подъем магмы к центральному каналу сопровождается растяжением постройки и обновлением системы трещин, вновь становящихся проводниками магматических эманаций.

Со времени последних извержений образованный ими колодцеобразный кратер постепенно заполняется водами атмосферных осадков. Прогретая фумарольными газами и насыщенная кислотами, вода в новообразованном озере имеет красивый бирюзовый цвет. Уровень озера, определяемый балансом испарения, фильтрации воды и количества осадков, год от года медленно повышается.

Описание экскурсии

Ознакомиться с большей частью достопримечательностей вулкана Горелый позволяет экскурсия через его вершинную часть (рис. 6).

Подъем к вершине с базового лагеря осуществляется по южному склону Горелого-3 в

Вид извержения Горелого из Петропавловска-Камчатского
View of Gorely volcano eruption from the city of Petropavlovsk-Kamchatsky

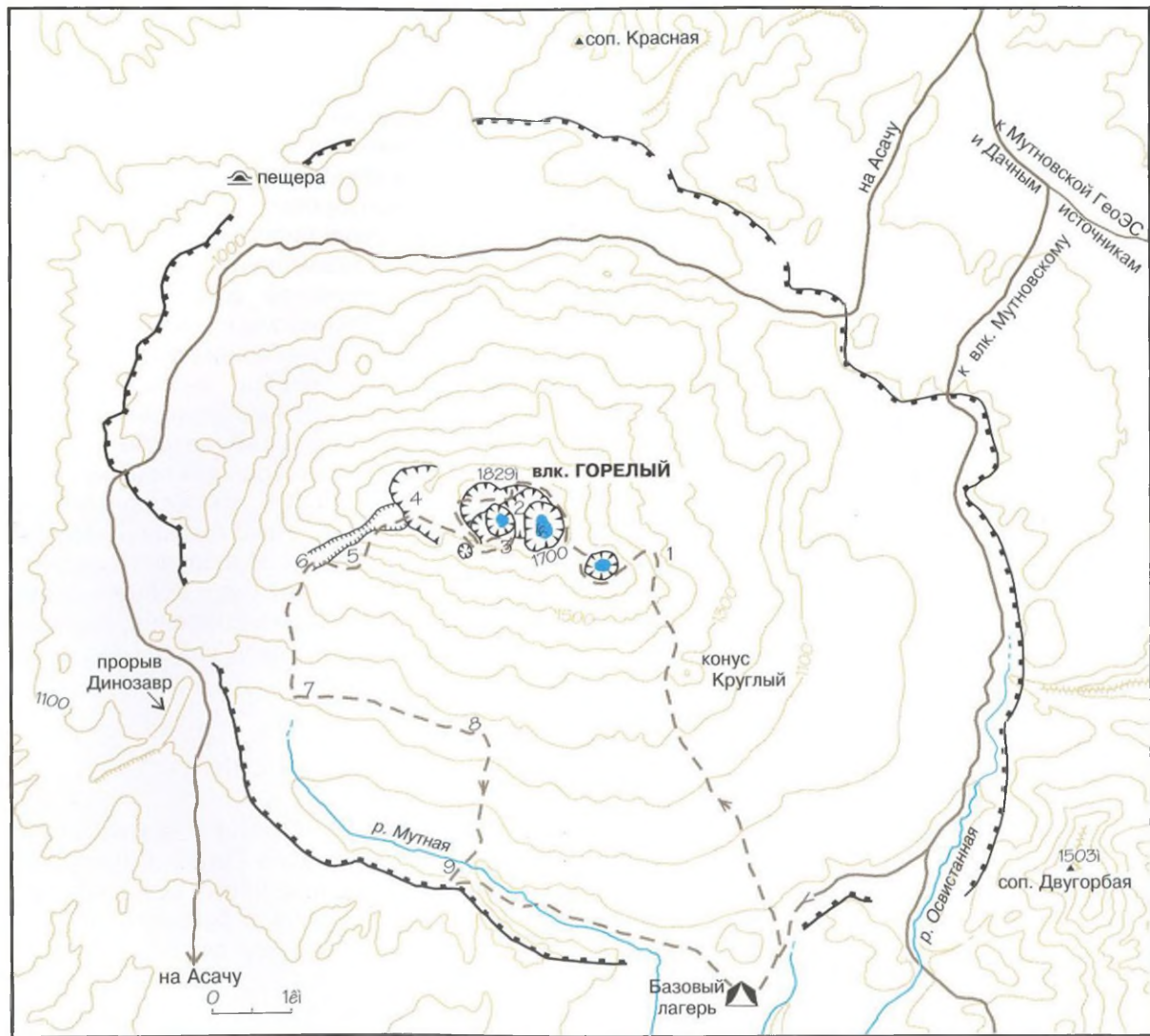


Рис. 6

Схема экскурсионного маршрута на вулкан Горелый
Обзорные площадки: 1 — у трещины прорыва одного из молодых лавовых потоков; 2, 3 — у активного кратера вулкана; 4 — на гребне Горелого-1: общий обзор молодых излияний на склонах вулкана и за пределами кальдеры; 5, 6 — места трещинных прорывов молодых лавовых излияний; 7 — обзор кальдерного уступа; 8 — на молодом потоке из застывшего лавового озера в вершинном кратере; 9 — у экструзии в борту кальдеры.
Остальные обозначения см. в пояснениях к рис. 3

Fig. 6

Scheme of the excursion route to Gorely volcano
View grounds: 1 — at a fissure of breakthrough of one of the young lava flows; 2, 3 — at the active crater of volcano; 4 — at the crest of Gorely-1 volcano: general view of young outflows on the volcanic flanks and beyond the bounds of caldera; 5, 6 — sites of fissure breakthroughs of the young lava flows; 7 — view of caldera scarp; 8 — at the young flow from hardened lava cauldron in the summit crater; 9 — at the extrusion in caldera side.
Other symbols see in explanations for Fig. 3

направлении крупного побочного конуса классически правильной формы (конус Круглый), по кекурнику его андезито-базальтового потока. Сам конус со своим кратером будет хорошо виден при дальнейшем подъеме на фоне вулкана Мутновского. Западнее Круглого виден другой, более ранний побочный конус, по самое жерло залитый лавами вершинного кратера и более высокого, субтерминального (привершинного) трещинного прорыва, фиксированного цепочкой небольших шлаковых конусов. Далее к северу и выше по склону располагается еще один аппарат крупного побочного извержения: шлаковый конус, восточный сектор подножия которого был расщеплен раскрывавшейся книзу трещиной и вынесен вытекавшей из нее лавой. Весьма обширный, многорукавный ее поток залил восточный склон Горелого-3 и часть дна кальдеры. Питавшая трещина в данном случае прошла точно по образующей склона Горелого-3, и былой выход магмы опознается по характерному симметричному рисунку валов коробления на лаве, с напором вытекавшей по обе стороны от истока.

Еще севернее, за описанным прорывом, построит Горелого-3 от вершины до половины склона пересекает зияющая трещина, питавшая одно из последних лавовых излияний — многоструйный поток черных плагиофировых андезитов. Этот раскол Горелого-3 ориентирован параллельно описанному, но косо по склону, поэтому лава вытекала в основном по одну (северную) сторону трещины. Извержение было чисто эффу-

Opala river flowed out from cinder cones in its lowest site (9 km of volcano summit). A sink of the summit crater of Gorely-2 volcano, and subsidence of the surrounding surface for 6-8 km in a strip of 5,5 m in length and 0,2—0,5 km in width in the area of cinder cones took place as a result of magma with-drawal.

Composition of rocks from Gorely volcano

According to the chemical and mineral composition volcanites of Gorely volcano represent an association of genetically related rocks (evolutionary series) from basalts to rhyodacites. Overwhelming rock mass of average-acid composition is concentrated in pre-caldera formations and in deposits of caldera-forming eruptions. In the current structure intermediate andesite-basaltic differences prevail. From the rocks of Mutnovsky volcano rocks from Gorely volcano differ with lower aluminiferousness, feriferousness and noticeably higher alkalinity (especially K_2O content). It blends with the general tendency of changing these features with volcanoes moving off the ocean. Series of Gorely volcano does not discover absolute accumulation of iron in rocks which is usual for near-ocean volcanoes, and due to this feature the series is referred to so-called calc-alkali type. Typical rock compositions from different age complexes of volcano are given in Table 4.

Chemical and mineralogical and petrographical properties of volcanites of Gorely volcano series show that the observed variety of rocks is condi-

oned by three main processes: crystallization differentiation accompanied, to all appearance, by partial assimilation, assimilation of the rocks from volcano basement, and mixing of magma of different stages of differentiation.

Current activity of Gorely volcano

In geographical, volcanological literature and that of regional studies eruptions of Gorely volcano in 1828, 1832, 1855, 1869, 1929, 1930, 1931, 1947, 1961 are marked. Different in power, all of them had explosive character and were confined to summit craters at Gorely-2 volcano. Their gas-ash trains are spread at a distance up to 150—200 km depending on the direction and wind force. During the periods between eruptions volcano was usually in a state of moderate fumarolic activity. Last eruptions of Gorely volcano studied in details took place in 1980.

Eruption which took place from June 1980 to July 1981 was anticipated by increase in fumarolic activity. Powerful seepage of incandescent gases from the vents on the floor of well-like crater dried out a lake existing in it and then was accompanied by explosions with outbursts of material from the structure. Further eruption acquired long period-pulsing character, with alternation of vapour-and-gas and phreatic explosions with volcanic outbursts at stages of maximum activity. Volcanic sand and resurgent ashes which had covered an area up to 500 km² were, mainly, evacuated to the surface, in lesser amount — coarse wastes

живным, на трещине имеется лишь небольшие валы разбрызгивания. На участках зияния трещины видно, что это структура растяжения, заметных сбросо-сдвиговых деформаций по ней не наблюдается.

Отмеченное извержение, по всей видимости, было началом описанного выше грандиозного извержения XVIII в., развивавшегося далее прорывами в других точках рифтовой зоны вулкана. Очевидно, совпадающие с направлением зоны магмовыводящие трещины двух более ранних из описанных прорывов также относятся к рифтовой системе, представляя разные этапы ее развития.

Дальнейший подъем приводит на кромку кратера Горелого-3, имеющего правильную чашеобразную форму. Стенки кратера сложены потоками андезито-базальтов, прослоенных пачками пирокластического материала. Внутренние и отчасти внешние склоны кратера почти сплошным покровом облекает пласт лавоподобного андезитового агглютината. Это любопытное образование представляет результат фонтанирования лавы последнего извержения, связанного с этим кратером. Днище кратера занимает холодное озеро, однако его восточная и северная стенки в верхних частях прогреты и выделяют из трещин едва заметные струи пара с температурой 30–50 °С.

Обойдя описанный кратер по северной или южной кромке, следует через седловину между Горелым-3 и Горелым-2 напрямую подняться на гребень группы его гнездовых кратеров: в при-



Активный кратер вулкана Горелый. Вид с северо-востока
Active crater of Gorely volcano. View from the north-east

of old rocks of volcano and bombs of fresh (juvenile) andesite-basalts. Total amount of erupted material is evaluated approximately in 65 mln tons, total loss of energy $\sim 6 \cdot 10^{10}$ erg.

Last eruption of Gorely volcano developed from the second half of 1984 and continued till the end of 1986. In a whole it had a character similar to one described above and was characterized by six periods of increase when height of eruptive column exceeded 3000 m at times. These paroxysms were interrupted with stages of poor vapour-and-gas emission.

Water vapours and gases among which H_2S , HF, HCl and SO_2 are present in more substantial amounts play the main driving role in explosive eruptions of Gorely volcano. Waters of atmospheric precipitation filtered through ashes of last eruptions had ultra acid composition with $pH < 1$.

Since the last eruptions a well-like crater formed by them is gradually filled with waters of atmospheric precipitation. Warmed thoroughly with fumarolic gases and saturated with acids water in newly-formed lake has beautiful turquoise colour. Level of the lake determined with the balance of evaporation, water filtration and amount of precipitates increases slowly year after year.

Description of the excursion

Excursion through the summit part of Gorely volcano let us to acquaint with the most part of its sights (Fig. 6).

Rising to the summit from base camp is carried out along southern flank of Gorely-3 volcano in the direction of large adventive cone of classically right shape (cone Krugly). To the west of cone Krugly the other, earlier adventive cone is seen which is flooded up to the vent with lavas from summit crater and higher subterminal (near-summit) fissure breakthrough fixed by chain of small cinder cones. Further to the north and above along the flank one more apparatus of large adventive eruption is located: cinder cone which eastern sector of foot was cut with a fissure opening downwards and carried out by lava flowing out of it. Its very extensive many-branched flow flooded the eastern flank of Gorely-3 volcano and part of caldera bottom.

Some more to the north, beyond the breakthrough described, structure of Gorely-3 volcano from the summit to half of the flank is cut with a gaping fissure which fed one of the last lava flows — many-stream flow of black plagiophyre andesites. This split of Gorely-3 volcano is orientated oblique along the flank, therefore lava flowed out mainly on one (northern) side of fissure. Eruption was purely effusive, there are only small bars of splashing on fissure. It is seen at the sections of fissure gaping that this is a structure of stretching, noticeable fault-shift deformations along it are not observed.

Marked eruption, to all appearance, was the beginning of immense eruption of XVIII century described above which developed further by breakthroughs in other points of rift zone of the volcano.

Further rising leads to the rim of Gorely-3 volcano.



Восточный кратер вулкана Горелого-2. Вдали — вулкан Мутновский
Eastern crater of Gorely-2 volcano. At the distance Mutnovsky volcano



Западный гребень комплекса кратеров Горелого-2. Вершина Мутновского над облаками
Western crest of the crater complex of Gorely-2 volcano. Summit of Mutnovsky volcano above the clouds

вершинной части склоны Горелого-2 покрыты 1,5—2-метровой пачкой глинистых резургентных пеплов последних извержений, затрудняющих движение из-за расчленения их мелкими круто-стенными ложбинами (барранкосами), а также при размокании в сырую погоду.

Всю группу вершинных кратеров Горелого-2 можно обойти по их общему гребню как с севера, так и с юга, однако путь по северной кромке предпочтительнее в пейзажном отношении. С нее открывается великолепный вид на соседние вулканы и горные сооружения. Особенно замечателен ракурс в сторону Мутновского вулкана, с кратерным озером и расцветченными обрывами кратерных стенок Горелого на переднем плане.

Не доходя до пика с максимальной на вулкане абсолютной отметкой 1829 м, можно спуститься с гребня на поверхность лаво-пирокластического комплекса заполнения одного из ранее существовавших кратеров вершинной группы и с его южной кромки, соблюдая осторожность, заглянуть в ныне действующий колодцеобразный кратер. Дождавшись, когда ветер отнесет в сторону столб заполняющих его газов, можно увидеть на дне небольшое озеро с водой бирюзового цвета, мощные фумаролы над его урезом и по трещинам в стенках, в обрамлении зеленовато-желтых возгонов серы.

Маршрут по краю этого обрыва приводит на западный гребень кратерной группы, облекаяемый оливин-базальтовым шлаковым агглютинатом. Это продукты извержения, сформировав-

no crater having right cyathiform shape. Crater walls are formed with andesite-basalt flows interbedded with bands of pyroclastic material. A bed of lava-like andesitic agglutinate with almost dense cover envelops internal and partly external crater flanks. This curious formation represents the result of spouting lava of the last eruption connected with this crater. Crater bottom is occupied by a cold lake, however, its eastern and northern walls in upper parts are warmed thoroughly and fume slightly noticeable vapour streams with the temperature 30—50 °C from the fissures.

Having walked round the crater described along the northern or southern edge, one should rise straight to the crest of the group of its nested craters through a saddle between Gorely-3 and Gorely-2 volcanoes: in the near-summit part flanks of Gorely-2 volcano are covered with 1,5—2-meter band of clay resurgent ashes of last eruptions which make difficulties for the movement because of their distinction with small steeply-walled hollows (barrancoes), and with soaking in damp weather also.

The whole group of summit craters of Gorely-2 volcano can be walked around along their common crest both from the north and south, however way along the northern rim is preferable in a view aspect. From it a magnificent view of the neighboring volcanoes and mountain structures is revealed. Foreshortening to Mutnovsky volcano with a crater lake and scarps of crater walls of Gorely volcano painted in bright colours in the foreground is especially wonderful.

Before one reaches the peak with a maximum absolute mark of 1829 m on volcano, he can come down from the crest to the surface of lava-pyroclastic complex of filling one of the earlier existed craters of summit group and from its southern rim. Besides, keeping to caution one can look into well-like crater acting now. Having waited when wind carries away a column of gases filling it aside, one can see a small lake with water of turquoise colour on the bottom, large fumaroles above its line and along fissures in walls in the frame of greenish-yellow sublimates of sulphur.

Route along the edge of this scarp leads to the western crest of crater group enveloped in olivine-basaltic cinder agglutinate. These are the products of eruption which had formed the second crater from the group of summit craters. Along the rim one can come down to the ground covered with resurgent ashes at the open southern edge of crater which contains the active one and view it from the other side and from closer distance. The ground itself represents the rest of hardened lava cauldron which in XVIII century overflowed here to the southern flank of volcano with formation of large andesite-basalt flow.

By separate small crater and ground warmed thoroughly at the south-western flank of Gorely-2 volcano excursion continues to the crest of preserved part of Gorely-1 crater. Several lava flows in a section of its horseshoe-shaped wall are overlapped with a thick bed of andesitic agglomerate, inside «horseshoe» a young cone of high-porous cinders of



Активный кратер Горелого. Вид с западного гребня
Active crater of Gorely volcano. View from the western crest

шего второй из группы вершинных кратеров. По кромке можно спуститься на засыпанную резургентными пеплами площадку у открытого южного края кратера, вмещающего действующий, и осмотреть последний с другой стороны и с более близкого расстояния. Сама площадка представляет собой остаток затвердевшего лавового озера, в XVIII в. переливавшегося здесь на южный склон вулкана с формированием крупного потока андезито-базальтов. Разрез лавы бывшего озера, теперь перекрытой пачкой пеплов последних извержений, виден в стенках небольшой провальной воронки у восточного края площадки. Хорошо наблюдаются соотношения деструктивных форм вулканического рельефа (кратеров) с комплексами их заполнения и паровые струи, проникающие на поверхность как раз по контакту такого комплекса с западной стенкой кратера.

Мимо отдельного небольшого кратера и прогретой площадки на юго-западном склоне Горелого-2 экскурсия продолжается к гребню сохранившейся части кратера Горелого-1. Несколько лавовых потоков в разрезе его подковообразной стенки перекрываются мощным пластом андезитового агломерата, внутри «подковы» располагается разрушенный эрозией молодой конус из высокопористых шлаков оливинных андезито-базальтов. С гребня кратера хорошо просматривается юго-западная ветвь рифтовой зоны. В ее ближайшей закальдерной части выделяется хребет прорыва Динозавр — отмеченное выше сооружение многоканального субгляциального

olivine andesite-basalts which is destructed by erosion is located. South-western branch of rift zone is well seen from the crater crest. In its closest part which lies beyond the bounds of caldera a ridge of Dinosaur breakthrough is distinguished — a construction marked above in the text of multi-canal subglacial (englacial) breakthrough, and further, in narrow graben in pumice field, a number of cinder cones and largest andesite-basaltic flow from the series of eruptions in XVIII century in rift zone of volcano.

Intracaldera part of rift zone is represented by a number of gaping fissures with two so young flows of andesite-basalts at south-western flank of Gorely-1 volcano, where one should continue his route. Here eruptions were merely effusive, without substantial evacuation of pyroclastic material and without formation even small cinder cones on fractures. A narrow flow which came down to the south-western foot of volcano flowed out from the fissure located above on the flank. From the breakthrough located below many-stream flow outflowed which is spread whimsically between old cinder cones and along brook beds to the south, west and north (Fig. 2).

From this point route turns to return. Passing along the scarp edge of Gorely-1 foot, one can observe the structure of caldera scarp. It is formed here with lavas of andesite-dacites, pumices overlapping them and with a chain of post-caldera cinder cones from red-coloured subaphyric andesite-basalts which crowns the section. Not coming down to the caldera bottom which is usually occupied with deep

melting snow, one can walk to the young flow connected with a mentioned lava cauldron in summit crater and traverse it in its wide part. Here one can see details of its structure: flow structures expressed by orientation of large phenocrysts of plagioclase, arched outliers of lava pipes, lava trenches, whimsical kekur rocks.

Further one should come down to the caldera bottom filled with sands along which Mutnaya river still shallow here meanders which justify its name by water saturation with ashes carried away abundantly. On its right bank, in the projection of caldera wall one can look round one of the comparatively young dacitic extrusions, or, to be more precise, effusive dome: intersecting body of extrusion served here as a conducting canal for powerful flows with well-preserved forms of primary relief which spreaded to the south. Dacites of this structure contain numerous so-called homogeneous inclusions of basaltoids — result of basaltoid magma «injection» to dacitic magma before eruption.

Further, along Mutnaya river and then across the fields of old lava flows excursion comes back to the base camp.

(внутриледникового) прорыва, а далее, в узком грабене на пемзовом поле, ряд шлаковых конусов и крупнейший андезито-базальтовый поток из серии извержений XVIII в. в рифтовой зоне вулкана. К сожалению, с предложенной базы эти великолепные «наглядные пособия» для интересующихся вулканизмом и структурной геологией достижимы лишь специальным маршрутом, требующим длительного подхода или подъезда вездеходом по дороге к золоторудному Асачинскому месторождению.

Внутрикальдерная часть рифтовой зоны представлена рядом зияющих трещин с двумя столь же молодыми потоками андезито-базальтов на юго-западном склоне Горелого-1, куда и следует продолжить маршрут. Извержения здесь были чисто эффузивными, без сколько-нибудь существенного выноса пирокластического материала и без образования на трещинах хотя бы небольших шлаковых конусов. Из трещины, расположенной выше на склоне, вытек узкий поток, спустившийся к юго-западному подножию вулкана. Из ниже расположенного прорыва излился многоструйный поток, прихотливо растекшийся между старыми шлаковыми конусами и по руслам ручьев к югу, западу и на север (рис. 2).

С этого места маршрут поворачивает к возвращению. Проходя по краю обрыва подножия Горелого-1, можно наблюдать строение кальдерного уступа. Здесь он сложен лавами андезитодацитов, перекрывающими их пемзами и венчающей разрез цепочкой посткальдерных шла-

ковых конусов из красноцветных субафировых андезито-базальтов. Не спускаясь на днище кальдеры, обычно занятое глубоким тающим снегом, можно по полке подножия вулкана пройти до молодого потока, связанного с упоминавшимся лавовым озером в вершинном кратере, и пересечь его в широкой части. Тут можно увидеть детали его строения: структуры течения, выраженные ориентировкой крупных вкрапленников плагиоклаза, арочные останцы лавовых труб, лавовые желоба, причудливые скалы кекурника.

Далее следует спуститься на занесенное песками дно кальдеры, по которому извивается еще мелководная здесь р. Мутная, оправдывающая свое название насыщенностью воды обильно сносимыми гореловскими пеплами. На правом ее берегу, в выступе стенки кальдеры можно осмотреть одну из сравнительно молодых дацитовых экструзий, или, точнее, эффузивный купол: секущее тело экструзии здесь служило проводящим каналом для растекавшихся к югу мощных потоков с хорошо сохранившимися формами первичного рельефа. Дациты этого сооружения содержат многочисленные так называемые гомеогенные включения базальтоидов — результат «впрыска» базальтоидной магмы в дацитовую передизвержением.

Далее вдоль р. Мутной и затем через поля старых лавовых потоков экскурсия возвращается в базовый лагерь.

Short glossary of terms

Amphiboles — group of mainly dark-coloured minerals of widely variable composition, among which usual hornblende is the most widespread (Ca, Na, K), (Mg, Fe, Al), Si , AlO_2 , (OH, F) .

Biotite — $\text{K (Mg, Fe)}_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10} (\text{OH})_2$, dark (from reddish- to greenish-brown) mica.

Amphiboles and biotite are spread mainly in rocks of average-acid composition crystallizing in magmas with a higher content of dissolved water; comparatively rare in rocks from the frontal (closest to the ocean) volcanic zones.

Maars — comparatively low and sloping conical structures with wide craters, result of explosive (phreatomagmatic) eruptions with magma breakthroughs at flooded (near-shore, lake-swamp, flood plain) areas.

Geological map — is a main total of geological study of the territory reflecting its structure. Rock masses outcropping to the surface (suites, series, complexes) of different age are shown on the map by colour and letter-and-figure indexes, stroked signs indicate their composition and nature (lavas, pyroclastic, etc.) — correspondingly to the general geochronological scale and accepted system of symbols. Principles of drawing and reading of geological map can be understood from its comparison with sections according to indicated profiles.

Olivine — $(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_4$, yellow-brown, olive transparent mineral typical for the main igneous rocks (basalts), solid solution of purely magnesian (forsterite) and purely ferriferous (fayalite) components.

Pyroxenes — greenish-, brownish-black minerals of two the most spread varieties: calcic — Ca (Mg, Fe) SiO_3 (augite) and non-calcic (poor in calcium) — $(\text{Mg, Fe) SiO}_3$ (bronzite, hypersthene); according to the crystallographic

and optical properties these varieties are also called clinopyroxenes and orthopyroxenes.

Plagioclase — colourless transparent mineral, alumosilicate of sodium and calcium, solid solution of sodic ($\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$ — albite) and calcic ($\text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ — anorthite) components. The most spread mineral of igneous rocks. Depending on anorthite content (plagioclases of basic rocks are rich in it) the following plagioclases have their own names: albite (0—10 % of anorthite), oligoclase (10—30 %), andesine (30—50 %), labradorite (50—70 %), bytownite (70—90 %), anorthite (90—100 %).

Titanomagnetite — Fe_3O_4 with impurity of Fe_2TiO_5 , black shining mineral (in accumulations iron ore).

Fumaroles — settled general name for vapour-and-gas streams at volcanoes, in scientific classification it is referred to the hottest ($> 300^\circ \text{C}$) of them only; less hotter ones are called solfataras. In all of them sulphur compounds are the basic components, besides water vapour. However, impurity of hydrofluoric- and hydrochloric acids is substantial in fumaroles. More else cold ($< 100^\circ \text{C}$) streams have water-carbon dioxide composition and are called morfettes.

Краткий словарь терминов

Амфиболы — группа преимущественно темноокрашенных минералов широко изменчивого состава, наиболее распространенным из которых является обыкновенная роговая обманка $(Ca, Na, K)_2 (Mg, Fe, Al)_3 Si_4 AlO_{11} (OH, F)_2$.

Биотит — $K (Mg, Fe)_3 AlSi_3 O_{10} (OH)_2$, темная (от красновато- до зеленовато бурой) слюда.

Амфиболы и биотит распространены преимущественно в породах среднего-кислого состава, кристаллизуются в магмах с повышенным содержанием растворенной воды; сравнительно редки в породах фронтальных (ближайших к океану) вулканических зон.

Маары — сравнительно низкие и пологие конические постройки с широкими кратерами, результат эксплозивных (фреатомагматических) извержений при прорывах магмы на обводненных (прибрежных, озерно-болотных, пойменных) участках.

Карта геологическая — основной итог геологического изучения территории, отражающий ее строение. Цветом и буквенно-цифровыми индексами на карте показываются выходящие на поверхность толщи (свиты, серии, комплексы) пород различного возраста, а штриховыми значками — их состав и характер (лавы, пирокластика, и т. п.), соответственно общей геохронологической шкале и принятой системе условных обозначений. Например, четвертичный период геологической истории (индекс Q, время от 700 тыс. лет назад), отложения которого наиболее распространены в Мутновско-Гореловском районе, разделяется на плейстоцен ранний (Q_1 , 700–~380 тыс. л. н., средний (Q_2 , ~380 ~110 тыс. л. н.), поздний (Q_3 , ~110 11 тыс. л. н.), и голоцен (от 11 тыс. л. н. до ныне). Каждый из этих отделов имеет собственное более детальное разделение (Q_1^a , и т. п.). Принципы построения и чтения геологической карты могут быть поняты из ее сопоставления с разрезами по обозначенным профилям.

Оливин — $(Mg, Fe)_2 SiO_4$, желто-коричневый, оливковый прозрачный минерал, характерный для основных изверженных пород (базальтов), твердый раствор чисто магниезильного (форстерит) и чисто железистого (фаялит) компонентов.

Пироксены — зеленовато-, буровато-черные минералы двух наиболее распространенных разновидностей: кальциевой — $Ca (Mg, Fe) SiO_6$ (авгит) и бескальциевой (бедной кальцием) — $(Mg, Fe) SiO_6$ (бронзит, гиперстен); по кристаллографическим и оптическим свойствам эти разновидности называют также клино- и ортопироксенами.

Плагиоклаз — бесцветный прозрачный минерал, алюмосиликат натрия и кальция, твердый раствор натриевого ($Na AlSi_3 O_8$ — альбит) и кальциевого ($Ca Al_2 Si_2 O_8$ — анортит) компонентов. Наиболее распространенный минерал изверженных пород. В зависимости от содержания анортита (им богаты плагиоклазы основных пород) в ряду плагиоклазов под собственными названиями выделяют: альбит (0—10 % анортита), олигоклаз (10—30 %), андезин (30—50 %), лабрадор (50—70 %), битовнит (70—90 %), анортит (90—100 %).

Титаномагнетит — $Fe_2 O_4$ с примесью $Fe_2 TiO_4$, черный блестящий минерал (в скоплениях — железная руда).

Фумаролы — устоявшееся общее название парагазовых струй на вулканах, в научной классификации относящиеся лишь к наиболее горячим (> 300 °C) из них; менее горячие называются сольфатарами. И в тех, и в других основными компонентами, помимо водяного пара, являются соединения серы, однако в фумаролах существенна примесь фтористо- и хлористоводородной кислот. Еще более холодные (< 100 °C) струи имеют водно-углекислотный состав и называются мофетами.

Основная литература

Е. А. Вакин, И. Л. Кирсанов, А. А. Пронин. Активная Воронка Мутновского вулкана. // Бюлл. вулканол. станций. 1966. N 40. С. 25-35.

Е. А. Вакин, Г. Ф. Пилипенко, В. М. Сугробов. Общая характеристика, Мутновского месторождения и прогнозная оценка ресурсов. // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 6-40.

И. Т. Кирсанов, И. В. Мелекесцев. Вулкан Горелый. // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. С. 292-315.

Б. Г. Поляк, И. В. Мелекесцев. Продуктивность вулканических аппаратов. // Вулканология и сейсмология. 1981. N 5. С. 22-37.

О. Б. Селянгин. Новое о вулкане Мутновский: строение, развитие, прогноз. // Вулканология и сейсмология. 1993. N 1. С. 17-35.

О. Б. Селянгин, В. В. Пономарева. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999, № 2 С. 3-23.

Taran Yu. A., Pilipenko V. P., Rozhkov A. M., Vakin E. A. A geochemical model for fumaroles of the Mutnovsky volcano, Kamchatka, USSR. // Journ. Volcanol. and Geotherm. Res. 1992. N. 49 P. 269-283.

References

Vakin E. A., Kirsanov I. L., Pronin A. A. Active Funnel of Mutnovsky volcano. // Bulletin of volcanological stations. 1966. N 40. Pp. 25-35.

Vakin E. A., Pilipenko G. Ph, Sugrobov V. M. General characteristics of Mutnovsky deposit and forecast valuation of resources. // Geothermic and geochemical researches of high-temperature hydrothermae. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 6-40

Kirsanov I. T., Melekestsev I. V. Gorely volcano. // Active volcanoes in Kamchatka. Moscow: Nauka, 1991. Pp. 292-315.

Polyak B. G., Melekestsev I. V. Productivity of volcanic apparatuses. // Volcanology and seismology. 1981. N 5. Pp. 22-37.

Selyangin O. B. New about Mutnovsky volcano: structure, development, forecast. // Volcanology and seismology. 1993. N 1. Pp. 17-35.

Selyangin O. B., Ponomareva V. V. Structure and development of Gorelovsky volcanic centre, Southern Kamchatka. // Volcanology and seismology. 1999. N 2. Pp. 3-23.

Taran Yu. A., Pilipenko V. P., Rozhkov A. M., Vakin E. A. A geochemical model for fumaroles of the Mutnovsky volcano, Kamchatka, USSR. // Journ. Volcanol. And Geotherm. Res. 1992. N 49. Pp. 269-283.

Содержание

Введение	5
Вулкан Мутновский	11
Строение и история развития вулкана	13
<i>Вулкан Мутновский-1</i>	13
<i>Вулкан Мутновский-2</i>	19
<i>Вулкан Мутновский-3</i>	21
<i>Вулкан Мутновский-4</i>	29
Современный вулканизм Мутновского	31
О составе и происхождении пород вулкана Мутновский	37
Описание экскурсий	41
<i>Экскурсия в прижерловую зону вулкана («в кратер»)</i>	41
<i>Экскурсия к вершинной части вулкана и на Северо-Мутновские горячие источники</i>	57
<i>Экскурсия по р. Вулканной к водопадам и озерам</i>	65
Вулкан Горелый	69
Докальдерная постройка, кальдера вулкана Горелый и ранний посткальдерный комплекс моногенных вулканов	73
Современный вулкан Горелый	77
<i>Вулкан Горелый-1</i>	77
<i>Вулкан Горелый-2</i>	79
<i>Вулкан Горелый-3</i>	81
Магмопроводящая структура вулкана. Побочные прорывы и рифтовая зона	83
Состав пород вулкана Горелый	87
Современная активность вулкана Горелый	89
Описание экскурсии	91
Краткий словарь терминов	103
Основная литература	104

Content

Introduction	6
Mutnovsky volcano	11
Structure and development history of the volcano	18
Mutnovsky-1 volcano	18
Mutnovsky-2 volcano	20
Mutnovsky-3 volcano	20
Mutnovsky-4 volcano	28
Current volcanism of Mutnovsky volcano	34
On composition and origin of rocks from Mutnovsky volcano	38
Description of excursions	42
Excursion to the vent zone of the volcano («to the crater»)	42
Excursion to the summit of the volcano and Northern-Mutnovskie hot springs	52
Excursion along Vulkannaya river to waterfalls and lakes	58
Gorely volcano	69
Pre-caldera volcanic structure, caldera of Gorely volcano and early post-caldera complex of monogene volcanoes	72
Current Gorely volcano	74
Gorely-1 volcano	76
Gorely-2 volcano	76
Gorely-3 volcano	82
Magma-conducting structure of the volcano. Side breakthroughs and rift zone	84
Composition of rocks from Gorely volcano	94
Current activity of Gorely volcano	94
Description of excursion	96
Short glossary of terms	102
References	104



Альбомы, подарочные издания о Камчатке

Артюхин, Ю. Кроноцкий заповедник: Альбом
Артюхин, Ю. Командорские острова: Фотоальбом
Вайнштейн, И. Многоликая Камчатка: Фотоальбом
Горшков, С. Медведь: Альбом
Жилин, М. Птичьи базары
Карпов, Г. Полыхающие горы Камчатки: Альбом
Ладыгин, А. Камчатка: Фотоальбом
Ладыгин, А. Кроноцкий заповедник: Фотоальбом
Лазарев, В. Камчатка: Фотоальбом

Малиновский, Э. Птицы Камчатки: Альбом
Мы живем на Камчатке: Фотоальбом
Нечаев, А. Долина гейзеров: Альбом
Нечаев, А. Камчатка: Горячая земля у студеного моря: Альбом
Нечаев, А. Камчатка: Полуостров медведей: Фотоальбом
Нечаев, А. Царство вулканов: Альбом
Пасенюк, С. Командорские острова: Фотоальбом
Смышляев, А. Запорожье Камчатское, славное... Альбом
Смышляев, А. Вилючинск: город у порога океанских глубин: Альбом

Альбомы, посвященные столице Камчатского края

Вайнштейн, И. На берегах Авачи: Фотоальбом
Дьяков, А. Петропавловск-Камчатский: город среди вулканов: Фотоальбом
Комисарук, А. Петропавловск-Камчатский: Фотоальбом
Лазарев, В. Наш дом — Петропавловск-Камчатский: Фотоальбом
Памятники Петропавловска-Камчатского: Иллюстрированное издание

Книги по истории, экономике, этнографии Камчатского края

Белашов, А. Камчатское православие: Трехсотлетний путь
Витер, И. Мода от природы: Национальная одежда
Вопросы истории Камчатки: вып. 1,2,3
Гаврилов, С. Флот Камчатки (1928—1945)
Козьмин, Н. Большерецкая земля: Записки краеведа
Комаров, В. Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг.
(Серия: Камчатка в описаниях путешественников)

Кравченко, В. След ветра: Книга об истории культуры, народных традициях и талантливых людях Камчатского края
Кравченко, В. На Эссо радуга упала: Альбом
Пасенюк, А. Тихое чудо в океане — Командоры
Пирагис, А. От нагана до компьютера
Пирагис, А. Правители Камчатки
Смышляев, А. Ясак и деньги

МАГАЗИНЫ «НОВОЙ КНИГИ»

- Дом книги «Юридическая и деловая литература»: ул. Ленинская, 34, тел. 41-21-93
- Дом книги «Просвещение»: ул. Атласова, 226, тел. 42-27-54
- Дом книги «Библио Глобус»: ул. Тушканова, 17, тел. 26-54-39
- «Новая школа»: ул. Звездная, 28, тел. 22-42-84
- «Книжная лавка студента»: ул. Ключевская, 56, тел. 42-75-74
- «КанцОфис»: ул. Пограничная, 60, тел. 43-20-02
- «УчМаркет»: ул. Пограничная, 60, тел. 43-20-03
- «Школьная книжная ярмарка»: пр-т Победы, 6, тел. 23-48-47
- «Книжный мир»: пр. Таранца, 3/1, тел. 49-69-80
- «Новая книга»: г. Елизово, ул. В. Кручины, 30 а, тел. 8(415-31) 6-41-92
- «Факел»: ул. Океанская, 119 а, тел. 24-46-29, 24-03-06
- «Знание»: г. Вилючинск, ул. Кронштадская, 2, тел. 8 (415 35) 3-17-59

БОЛЬШОЙ АССОРТИМЕНТ КРАСОЧНЫХ, БЕЗОПАСНЫХ, ПРОЧНЫХ КАНЦТОВАРОВ

О. Б. СЕЛЯНГИН

**К ВУЛКАНАМ
МУТНОВСКИЙ И ГОРЕЛЫЙ**

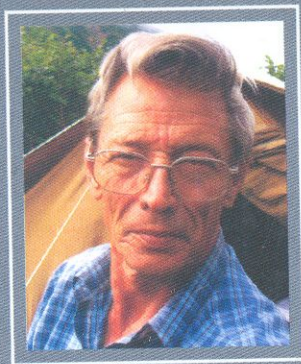
Вулканологический и туристический
путеводитель

Ответственный за выпуск *С.П. Кожан*
Слайды *О.Б. Селянгина, Н.П. Смелова, Н.И. Селиверстова, А.В. Курохтиной*
Редактор *Е.В. Гропянов*
Перевод *Н.Е. Соломко*
Дизайн, верстка *А.В. Курохтиной*

Подписано в печать 09.03.2009. Формат 60х90/12
Печать офсетная. Тираж 500. Заказ 02/018

ООО Холдинговая компания «Новая книга»
683006, г. Петропавловск-Камчатский,
ул. Пограничная, 60

Отпечатано в типографии «СЭТО-СТ Плюс»
683024, г. Петропавловск-Камчатский,
проспект 50 лет Октября, 1/2.
Тел.: 23-64-14, 23-60-83



Олег Борисович Селягин — вулканолог,
ведущий научный сотрудник
научно-исследовательского геотехнического
центра ДВО РАН. Автор монографии
и статей о структуре и вулканизме
Карымского района, о вулканах Мутновский,
Горелый, Ксудач, о петрологии
никеленосных интрузей Камчатки.