

Atrakcje geoturystyczne grupy wulkanów Kluczewskiej Sopki, Północna Kamczatka, Rosja

Geotouristic attractions of the Klyuchevskoy group volcanoes,
North Kamchatka, Russia

Marek Łodziński

AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection,
Department of General Geology, Environmental Protection and Geotourist
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
e-mail: Marek.Lodzinski@agh.edu.pl



Treść: Artykuł przedstawia walory geoturystyczne grupy wulkanów Kluczewskiej Sopki na Północnej Kamczatce. Pokazane zostało położenie półwyspu Kamczackiego na tle aktualnych granic płyt litosferycznych oraz wyjaśniono genezę i budowę tzw. Korjacko-Kamczackiego pasa wulkanicznego. Geotektoniczne położenie Kamczatki w strefie „okołopacyficznego pierścienia ognia” umożliwia zapoznanie się na tym obszarze z przejawami współczesnego wulkanizmu (wulkany tarczowe, stratowulkany, kopuły ekstruzywne, kaldery, pokrzywy ignimbrytowe, potoki błotne (lahary), ekshalacje gazów i par, czy wykwity siarkowe). Obok działalności wulkanicznej o niezwykle atrakcyjności geoturystycznej tego obszaru świadczy też urozmaicona rzeźba górską, modelowana przez lodowce górskie, procesy wietrzenne i erozję rzeczną.

Słowa kluczowe: Kamczatka, wulkany: Klyuchewski, Płaski, Kamień, Bezimienny, Zimina, Wielka Udina, Tolbachik, stratowulkany, kopuły ekstruzywne.

Abstract: The paper describes the geotouristic valours of the Klyuchevskaya group of volcanoes in the Northern Kamchatka. The relationships are presented between the Kamchatka and the recent boundaries of crustal plates, then the genesis and the structure are explained of the Koryak-Kamchatka volcanic belt. The geotectonic position of Kamchatka as a part of the “Circum-pacific Ring of Fire” enables us to recognize the manifestations of the recent volcanism (shield volcanoes, stratovolcanoes, lava domes, calderas, ignimbrites, lahars, gas and vapour exhalations, native sulphur encrustations). Apart from volcanic activity, the exceptional tourist value of the Northern Kamchatka is the high-mountain relief shaped by glaciers, weathering and river erosion.

Key words: Kamchatka; volcanoes: Klyuchevskoy, Krestovskiy, Ushkovskiy, Kamen, Bezymianny, Zimina, Bolshaya Udina, Tolbachik; stratovolcanoes; shield volcanoes; extrusive domes; lava flows

Wstęp

Kamczatka jest półwyspem o niedocenionych i niewykorzystanych walorach geoturystycznych. Potencjał geoturystyczny tego obszaru jest ogromny ze względu na to, że Kamczatka wchodzi w skład tzw. „okołopacyficznego pierścienia ognia”, czyli pierścienia wokół Pacyfiku z dużą ilością czynnych wulkanów (na Kamczatce jest 160 wulkanów), co ściśle związane jest z jej geotektonicznym położeniem na granicy płyt litosferycznych: pacyficznej i mikroplałyty ochockiej (Turner *et al.*, 1998, Konstantinovskaia, 2000, Gaedicke *et al.*, 2000, Golonka *et al.*, 2003, Kozhurin, 2004, Kozhurin *et al.*, 2006, Portnyagin *et al.*, 2007) (Fig. 1-3). Powszechnie zwana też jest „krainą ognia i lodu” i stąd wynika jej niezwykłość, jako obiektu geoturystycznego, gdyż odsłania wyjątkowo dobrze zachowane, różnorodne formy i zjawiska wulkaniczne oraz formy akumulacji i erozji lodowcowej.

Warto podkreślić, że wraz z archipelagiem wysp Kurylskich jest to najbardziej aktywny, położony na lądzie fragment „okołopacyficznego pierścienia ognia”, w którym na stosunkowo niewielkim obszarze grupuje się 68 aktywnych wulkanów, tj. 12 % wszystkich znanych na Ziemi (Fedotov, Masurenkov, 1991). Wyrzucany przez nie materiał skalny w ciągu roku wynosi około 240 mln. ton, co stanowi 16-17 % objętości ze wszystkich lądowych wulkanów na Ziemi (Gushchenko, 1979). Kamczatka zajmuje jedynie 2 % długości „pierścienia ognia”, a na jej obszarze występuje 29 czynnych wulkanów (8 % ze wszystkich czynnych w tym pierścieniu) (Fedotov, Masurenkov, 1991).

Kamczatka, wraz z Czukotką stanowi najbardziej na wschód wysuniętą część kontynentu azjatyckiego (Fig. 4). Z jednej strony nie tak daleko (kilkanaście godzin lotu z przesiadką w Moskwie), ale dla podróżnika nieco dalej (219 godzin jazdy koleją transsyberyjską z Dworca Jarosławskiego w Moskwie do Władywostoku, a następnie około 48 godzin statkiem przez morze Japońskie i cieśninę La-Perouse’a do Pietropawłowska Kamczackiego). Ten drugi wariant jest atrakcją geoturystyczną samą w sobie, gdyż kolej transsyberyjska przecina różne struktury i jednostki geologiczne wchodzącego w skład płyty eurazjatyckiej.

Półwysp Kamczacki składa się z naprzemianległych obszarów obniżonych i morfologicznie wyniesionych. Są to kolejno od zachodu Nizina Zachodniokamczacka, Góry Kamczackie (Grzbiet Środkowy), Nizina Środkowokamczac-

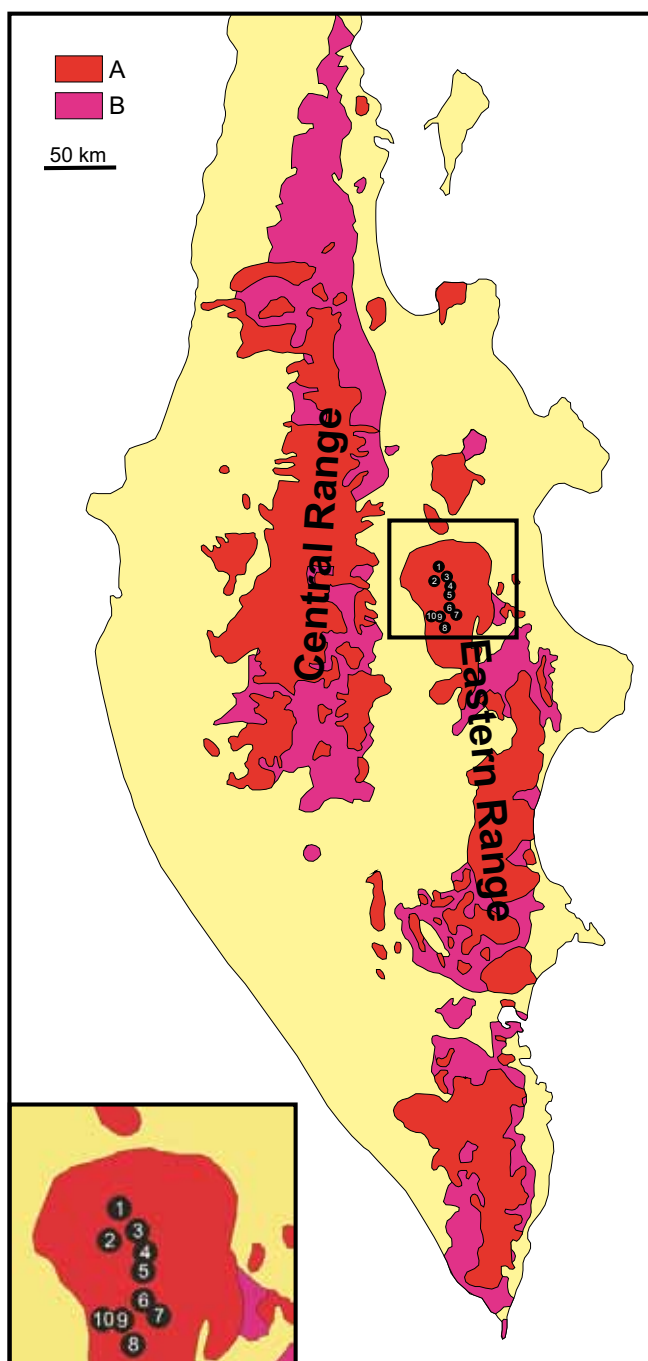


Fig. 1. Mapa położenia grupy wulkanów Kluczewskiej Sopki na Kamczatce. Punktami oznaczono obiekty geoturystyczne opisywane w tekście: 1 – wulkan Krestowski; 2 – wulkan Uszkowski; 3 – wulkan Kluczewski; 4 – wulkan Kamień; 5 – wulkan Bezymienny; 6 – wulkan Owalna Zimina; 7 – wulkan Ostra Zimina; 8 – wulkan Wielka Udina; 9 – Płaski Tołbaczik; 10 – wulkan Ostry Tołbaczik. A – neogeńskie wulkanity i wulkanosedymenty; B – czwartorzędowe wulkanity (na podstawie Fedotov, Masurenkov, 1991, zmienione) • Map of the Klyuchevskaya Sopka in Kamchatka. Points mark the volcanoes described in the text: 1 – Krestovsky; 2 – Ushkovsky; 3 – Klyuchevsky; 4 – Kamen; 5 – Bezymyannyi; 6 – Ovalnaya Zimina; 7 – Ostraya Zimina; 8 – Bolshaya Udina; 9 – Plosky Tolbachik; 10 – Ostryi Tolbachik. A – Neogene volcanics and volcanoclastics; B – Quaternary volcanoes (modified after Fedotov, Masurenkov, 1991).

ka (zwana też depresją Środkowokamczacką), Grzbiet Wschodni stromo schodzący w kierunku Pacyfiku.

Budowa geologiczna obszaru i geneza Korjako-Kamczackiego pasa wulkanicznego

Wysoka aktywność wulkanów kamczackich oraz budowa geologiczna półwyspu ściśle związane są z położeniem geotektonicznym na granicy płyty pacyficznej i mikro płyty ochockiej (Fig. 2 i 3). Świadectwem tej granicy na Kamczatce na powierzchni Ziemi jest tzw. Korjako-Kamczacki pas wulkaniczny oraz łańcuch wulkaniczny wysp Kurylskich, a pod powierzchnią oceanu wyraźnie zaznaczające się w morfologii dna oceanicznego rowy tektoniczne: kurylski i kamczacki dochodzące do głębokości 10,5 km (Fig. 2). Z rowami tymi związana jest strefa ognisk trzęsień Ziemi nachylona na zachód pod kątem 40 %, zwana strefą Benioffa, a rozpoznana do głębokości 650 km. W miejscu kolizji obu płyt w strefie Benioffa notowane są liczne ogniska trzęsień Ziemi, przy czym głębokość ich hipocentrum obniża się ze wschodu (od kilku kilometrów) na zachód (do 500–650 km) pod półwyspem Kamczackim zgodnie z kierunkiem ruchu subdukcji płyty pacyficznej (Fig. 2). Średnie tempo ruchu płyty pacyficznej w tym rejonie wynosi 9 cm/rok (Zonenshain *et al.*, 1990).

Istnieją wyraźne fakty geologiczne świadczące o tym, że w przeszłości na obszarze północno-wschodniej Azji znajdowało się kilka stref subdukcji (Zonenshain *et al.*, 1990, Turner *et al.*, 1998, Konstantinovskaia, 2000, Gaedicke *et al.*, 2000,

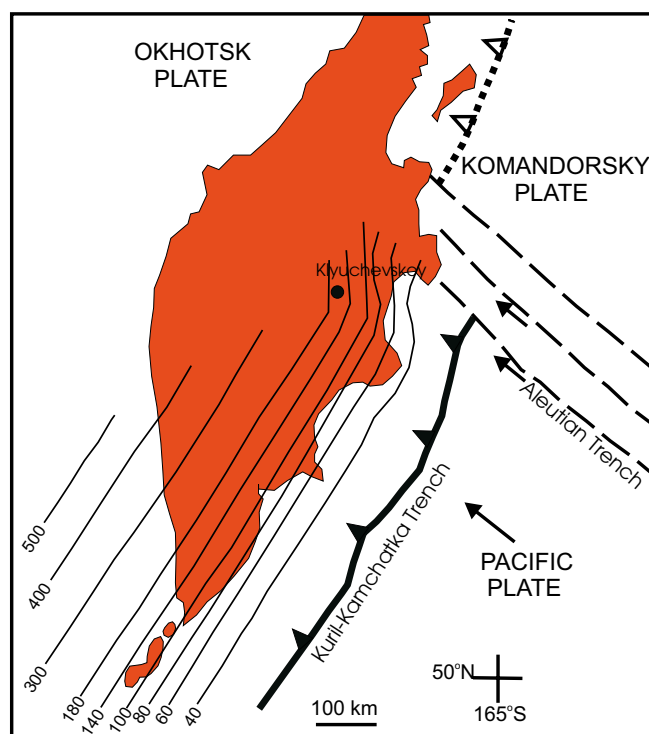


Fig. 2. Położenie Kamczatki na tle głównych jednostek geotektonicznych (na podstawie Fedotov, Masurenkov, 1991, Gorbatov *et al.*, 1997, Portnyagin *et al.*, 2007, zmienione). Cienkie, ciągłe linie wskazują głębokość zanurzonej płyty pacyficznej w km • Localization of Kamchatka referred to the main geotectonic units (modified after Fedotov, Masurenkov, 1991, Gorbatov *et al.*, 1997, Portnyagin *et al.*, 2007). Thin, solid lines are isobaths to the subducted Pacific plate (in km)

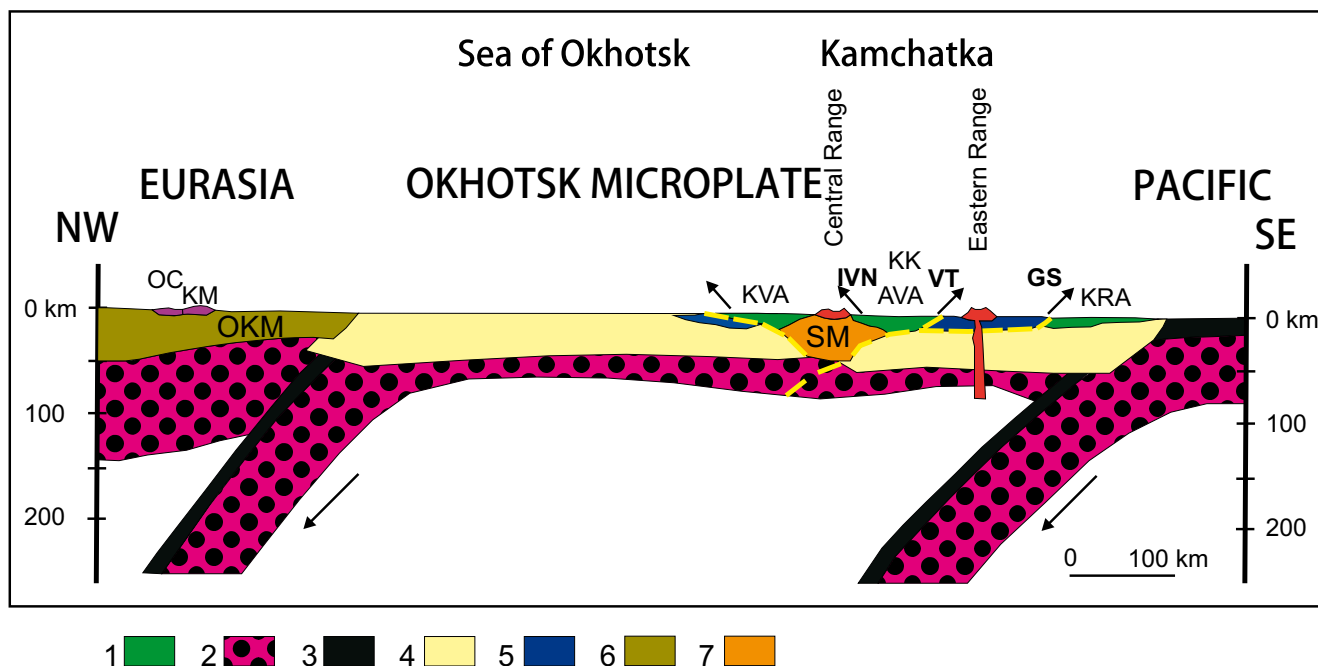


Fig. 3. Przekrój geologiczny przez środkową Kamchatkę (na podstawie Konstantinovskaia, 2001, uproszczone). Pasy wulkaniczno-plutoniczne typu andyjskiego: OC – Ochocko-Czukocki, KK – Korjako-Kamczacki, KM – Koni-Murgal; 1 – terrany wyspowe: Kwachona (KVA), Aczajwajam-Walaginski (AVA), Kronocki (KRA); 2 – warstwa górnego płaszczka; 3 – skorupa oceaniczna; 4 – skorupa subkontynentalna; 5 – skały pryzmy akrecyjnej; 6 – mikrokontynent Ochocki (OKM); 7 – mikrokontynent Grzbietu Środkowego (SM); IVN – płaszczowina Irunej-Watuna; VT – nasunięcie Wetlowka; GS – szew kolizyjny Grecziszkin • Geological cross-section through the Central Kamchatka (simplified after Konstantinovskaia, 2001). Andean-type magmatic belts: OC – Okhotsk-Chukotsky, KK – Koryak-Kamchatka, KM – Koni-Murgal; 1 – island terranes: Kvakhona (KVA), Achaiwayam-Valaginskaya (AVA), Kronotskaya (KRA); 2 – upper mantle; 3 – oceanic crust; 4 – continental crust; 5 – accretional prism; 6 – Okhotsk microcontinent (OKM); 7 – Central Ridge microcontinent (SM); IVN – Irunej-Vatuna nappe; VT – Vetlovka overthrust; GS – Grechishkin suture

Konstantinovskaia, 2001, Golonka *et al.*, 2003, Kozhurin, 2004, Kozhurin *et al.*, 2006, Portnyagin *et al.*, 2007), związanych m.in. z kolizjami bloku Kołymsko-Ochockiego, czy płyty Czukotki (Zonenshain *et al.*, 1990, Golonka *et al.*, 2003) (Fig. 2 i 3). Ich śladem są obecnie rozpoznawane w terenie pasy wulkaniczno-plutoniczne np. Ochocko-Czukocki (OC), Korjako-Kamczacki (KK), czy Koni-Murgal (KM) oraz szereg zamalgamowanych mikroterranych jak np. Grzbietu Środkowego (SM), Kronocki (KRA), Kamczacki Mys, ale też terrany, które nie są jeszcze dołączone jak np. terran Karagiński.

We wczesnej kredzie płyta Czukotki kolidowała z terranem Wierchojańskim (blok Kołymsko-Ochocki), będącym częścią Syberii. Od albu, aż do późnej kredy śladem aktywnej krawędzi na północno-wschodnim krańcu płyty eurazjatyckiej jest Ochocko-Czukocki pas wulkaniczno-plutoniczny (Parfenov *et al.*, 1993, Bocharova *et al.*, 1995). W kierunku tej aktywnej strefy od wschodu przemieszczały się niewielkie terrany i łuki wyspowe jak m.in. Koni-Murgal, Korjak, Chatyrka, które kolidowały i przyrastały do płyty eurazjatyckiej, a następnie płyty oceaniczne Izanagi i Kula (Zonenshain *et al.*, 1990, Didenko *et al.*, 1993, Levashova *et al.*, 1997). W kierunku bardziej południowym blok Sichote-Alinu również przemieszczał się w stronę płyty eurazjatyckiej. W późnej kredzie i paleocenie zaczęła rozwijać się strefa subdukcji wzdłuż Korjako-Kamczackiego pasa wulkanicznego.

Pas Korjako-Kamczacki obejmuje struktury leżące pomiędzy pasem Ochocko-Czukockim, a Pacyfikiem. Pas Kamczacki powstał w wyniku subdukcji płyty pacyficznej

wzdłuż Kurylsko-Kamczackiego rowu, którego początki datowane są na oligocen (35 Ma) (Fig. 2 i 3). Pas jest deformowany w kilku epizodach górotwórczych od środkowej kredy, aż do chwili obecnej. Jest strukturą akrecyjną, będącą aglomeratem licznych, bo aż 21 egzotycznych mikroterranych.

W budowie pasa można wyróżnić 3 kompleksy strukturalno-litologiczne, których wiek maleje z zachodu na wschód (Stavsky *et al.*, vide Zonenshain *et al.*, 1990). Są to: 1) kompleks wulkaniczny (dawna krawędź kontynentalna pasa wulkanicznego), 2) kompleks fliszowy i tufowo-klastyczny (dawny basen przedłukowy) i 3) terrany otoczone kompleksem fliszowym i melanżem serpentynitowym (pryzmy akrecyjne).

Najstarszymi fragmentami Pasa Kamczackiego są Grzbiet Środkowy i masyw Genal, zbudowane z metamorficznych łupków i gnejsów o niepewnym wieku 1300 Ma (Kuzmin i Chekhonin, 1980).

Działalność wulkaniczna na Kamczatce rozpoczęła się w kredzie, a jej nasilenie przypada na górny pliocen i trwa do dnia dzisiejszego. Klasycznym przykładem współczesnego wulkanizmu jest Grzbiet Wschodni wraz z masywem wulkanicznym grupy Kluczewskiej, w którym dominuje wulkanizm andezytowy (Fig. 1).

Grzbiet Wschodni rozciąga się wzdłuż wschodniego wybrzeża półwyspu na długości 850 km i ma szerokość między 50 a 100 km. Wulkanity czwartorzędowe zajmują powierzchnię, co najmniej 50 tys. km², a ich objętość stanowi 15 tys. km³ (Fedotov, Masurenkov, 1991). Pod względem chemicznym są to skały magmowe, wylewne o składzie obojętnym (bazalty, andezyty) i kwaśnym (dacyty i riolity).

Opisy wulkanów

Grupa wulkanów Kluczewskiej Sopki, zwana też masywem Kluczewskiej, wchodzi w skład wulkanicznego pasma – Grzbietu Wschodniego (Fig. 1, 2 i 4). Znajduje się na prawym brzegu rzeki Kamczatki i wznosi się od wysokości kilkudziesięciu m n.p.m., aż do wysokości 4688 m n.p.m. Kluczevska Sopka jest najwyższym, czynnym wulkanem Eurazji. Masyw wulkaniczny od W i N jest wyraźnie obcięty przez rzekę Kamczatkę (Fig. 5), a od E i S przez jej dopływy, odpowiednio Wielką Chapicę i Tołbaczik, dzięki czemu wyraźnie góruje nad niziną.

Jest to wymagający obiekt geoturystyczny (Łodziński, 2008), gdyż przejście całego masywu z N z miejscowości Klucze na S i następnie na W do Kozyrievska (nazwa pochodzi od nazwiska polskiego zesłańca) (Kuczyński, 2007) zajmuje przynajmniej kilka dni. W masywie brak jest jakiegokolwiek bazy turystycznej. Generalnie wszystkie wulkany w



Fig. 5. Przeprawa promowa na rzece Kamczatka na głównej drodze półwyspu Kamczackiego między Atlasowem, a Kozyrievskiem, fot. M. Łodziński • Ferry on the Kamchatka River, the main road of the Kamchatka Peninsula between Atlasov and Kozyrievsk, phot. M. Łodziński

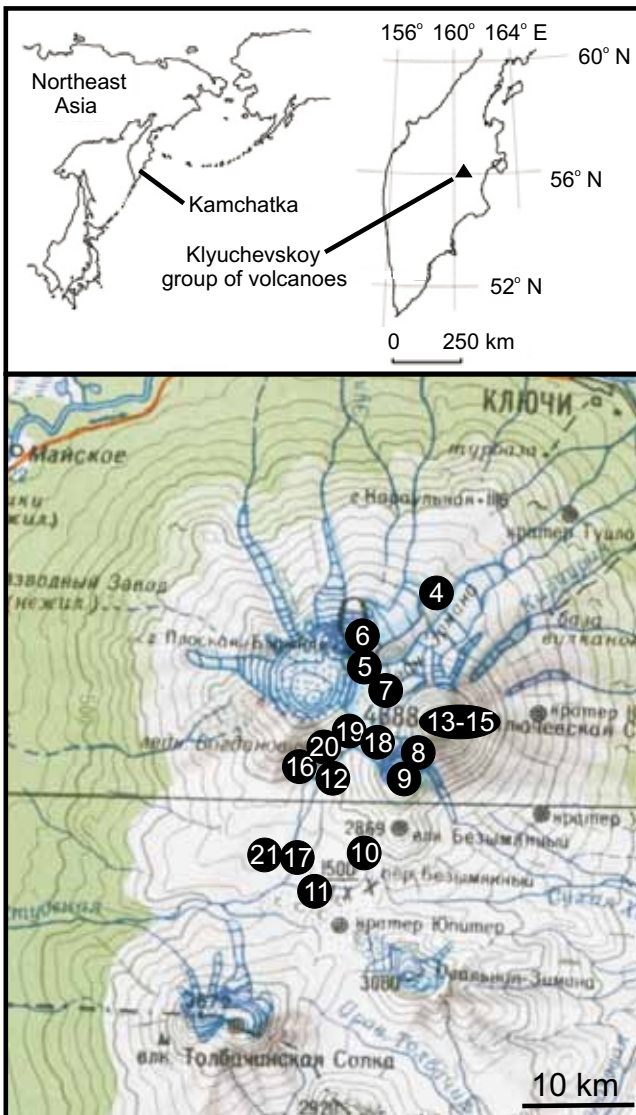


Fig. 4. Trasa wyprawy w rejon grupy wulkanów Kluczewskiej Sopki z zaznaczonymi geostanowiskami. Numeracja na mapie zgodna jest z podpisami pod fotografiami • Map of the trip to the Klyuchevskaya Sopka volcanoes with geosites. Numbers on the map correspond to explanations of photographs

grupie Kluczewskiej są osiągalne w porze letniej dla turysty z dobrą kondycją, wymagana jest umiejętność chodzenia w rakach (liczne lodowce i szczeliny) oraz aklimatyzacja.

Lodowce znajdują się na wulkanach Krestowskim (Krestovskiy) (Fig. 6), Uszkowskim (Ushkovskiy), Kamień (Kamen), Owalnaja Zimina (Ovalnaya Zimina) i Ostry Tołbaczik (Ostry Tolbachik) oraz największe u podnóża wulkanu Kluczevska Sopka (Klyuchevskoy) – od NW jest to lodowiec Ermana i Środkowy, a od SW lodowiec Bogdanowicza. W masywie Kluczewskiej znajdują się 2 czynne wulkany: Kluczevska (Klyuchevskoy) i Bezimienny (Bezymianny) oraz 8 dużych, nieczynnych: Krestowski (Krestovskiy), Uszkowski (Ushkovskiy), Kamień (Kamen), Owalnaja Zimina (Ovalnaya Zimina), Ostraja Zimina (Ostraya Zimina), Bolszaja Udina (Bolshaya Udina), Płaski Tołbaczik (Plosky Tolbachik) i Ostry Tołbaczik (Ostry Tolbachik) oraz kilkadziesiąt mniejszych (Fig. 4).

WULKAN KLUCZEWSKI

(Klyuchevskoy, Kluczewskaja Sopka) (4688 m n.p.m., zmienna wysokość po każdej erupcji)

Znajduje się na NW od wulkanu Kamień i na SE od wulkanu Uszkowskiego (56°05'N-56°11'N, 160°38'E-160°47'E). Powstał około 6000 tysięcy lat temu. Jest to symetryczny w przekroju stratowulkan, o nachyleniu zboczy do 33-35°, w górnych partiach do 45°, o średnicy 45 km przy podstawie, wyrzucający na przemian produkty eksplozywne i efuzywne (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991) (Fig. 7). Należy do najbardziej aktywnych wulkanów na Kamczatce, wyrzucając średnio w skali roku 60 mln. ton produktów piroklastycznych i law. Od jego powstania nie ma dowodów na okresy zaniku aktywności. Erupcje odbywają się z krateru centralnego i z licznych stożków pasożytniczych i szczelin na NE i SE zboczu głównego stożka (np. w latach 1697, 1737, 1931-1932, 1944-1945, 1966, 1983, 1987, 1994, 1998, 2005, 2007). Brzegi krateru zbudowane są ze skał bazaltowych, andezytowych i popiołów piroklastycznych, o przeróżnych barwach. Są to bazalty i andezyto-bazalty bogate w MgO, Al₂O₃. Krater wygląda jak przecięty tort z warstwami w kolorze czerwieni, brązu i czerni. Wokół szczelin, z których



Fig. 6. Widok na wulkany Kluczewski (4688 m n.p.m.) (po lewej) i Krestowski (4057 m n.p.m.) (po prawej) od N, fot. M. Łodziński • Volcanoes: Klyuchevsky (4,688 m a.s.l.) (left) and Krestovsky (4,057 m a.s.l.) (right) viewed from the north, phot. M. Łodziński

wydobywa się siarkowodór krystalizuje siarka rodzima. Zbocza wulkanu rozcięte są przez erozyjne bruzdy tzw. barrancos. Nad kraterem stale unosi się gorąca chmura pary wodnej i innych gazów. Wierzchołek pokryty jest śniegiem i lodem, który topnieje tylko w czasie podwyższonej aktywności wulkanicznej góry.

WULKAN PŁASKI (Plosky)

Składa się z dwóch stożków: Krestowskiego i Uszkowskiego (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991). **Wulkan Krestowski (Krestovsky, Ploskaja Bliźnaja) (4057 m n.p.m.)** znajduje się na NW od wulkanu Kamień i Kluczewska oraz na NE od wulkanu Uszkowskiego ($56^{\circ}06'N-56^{\circ}08'N$, $160^{\circ}29'E-160^{\circ}31'E$). Jest to typowy stratowulkan o stromo nachylonych zboczach, w całości pokryty lodowcem, nieaktywny od czasów historycznych (Fig. 8). **Wulkan Uszkowski (Płaski) (Ushkovsky, Ploskaja Dalnaja) (3903 m n.p.m.)** znajduje się na NW od wulkanu Kamień i Kluczewska oraz na SW od wulkanu Krestowskiego ($56^{\circ}04'N-56^{\circ}07'N$, $160^{\circ}26'E-160^{\circ}28'E$). Przykryty jest czapą lodową, która pokrywa szeroką, niemal płaską kaldere, o wymiarach 4,5x5,5 km, powstałą około 8600 lat temu. Wulkan nie tworzy klasycznego stożka wulkanicznego. W kalderze znajdują się dwa małe stożki popiołowe, pokryte lodem. W przeszłości wulkan wyrzucał materiał piroklastyczny w sposób eksplozywny, a z krateru wydostawała się lava np. z historycznego stożka – Lawowego Szczytu. Ostatnia erupcja miała miejsce w 1890 roku. Pomiędzy wulkanem Krestowskim, Uszkowskim i



Fig. 7. Dymiący stożek wulkanu Kluczewskiego (4688 m n.p.m.) od NW z przełęczy pomiędzy wulkanami Krestowskim (4057 m n.p.m.), a Średnią (2978 m n.p.m.), fot. M. Łodziński • The steaming Klyuchevsky volcano (4,688 m a.s.l.) seen from the northwest, from the pass between the Krestovsky (4057 m a.s.l.) and the Srednaya (2978 m a.s.l.) volcanoes, phot. M. Łodziński



Fig. 8. Fragment rozerwanej kaldery wulkanu Krestowskiego (4057 m n.p.m.) widoczny od E, wypełnionej lodowcem, fot. M. Łodziński • A fragment of disrupted caldera of the Krestovsky volcano (4057 m a.s.l.) filled with glacier, view from the east, phot. M. Łodziński



Fig. 9. Formy ablacji lodowcowej na polu firnowym lodowca Ermana i Bogdanowicza. Ostańce lodowe powstają w miejscach, gdzie materiał wulkaniczny osłania lód przed promieniami słonecznymi, fot. M. Łodziński • Forms of glacial ablation on the firn field of the Erman/Bokhdanowich glacier. Ice pedestals form where volcanic rock fragments protect ice from insulation, phot. M. Łodziński

Kluczewskim znajduje się pole firnowe dla lodowców Ermana i Bogdanowicza (Fig. 9 i 10).

WULKAN KAMIENŃ (Kamen) (4579 m n.p.m.)

Znajduje się na SW od wulkanu Kluczewskiego i na N od wulkanu Bezimiennego (56°02'N-56°05'N, 160°35'E-160°38'E) (Fig. 11). Jest wulkanem nieczynnym, a jego szczyt stanowi fragment rozerwanej kaldery, od W, NW i N pokryty jest lodowcem. Zdobycie wulkanu Kamień wymaga umiejętności wspinaczki skałkowej i lodowej, stąd jest niezbyt często odwiedzany przez turystów.

WULKAN BEZIMIENNY (Bezymianny) (2869 m n.p.m., o zmiennej wysokości po każdej erupcji)



Fig. 10. Widok na wulkany Krestowski (4057 m n.p.m.) – po prawej i Ushkowski (3903 m n.p.m.) – po lewej, od SE z przełęczy Kamień-Kluczewska. W dole pole firnowe lodowca Ermana i Bogdanowicza, fot. M. Łodziński • The Krestovsky (4,057 m a.s.l.) (right) and the Ushkovsky (3,903 m a.s.l.) (left) volcanoes viewed from the southeast, from the pass between the Kamen and the Kluchevsky volcanoes. Beneath – the firn field of the Erman/Bokhdanowich glacier, phot. M. Łodziński

Znajduje się na SW od Kluczewskiej Sopki i na S od wulkanu Kamień (55°58'N-56°02'N, 160°35'E-160°43'E) (Fig. 12). Jest typowym stratowulkanem, powstałym około 4700 lat temu na kopule lawowej późnoplejstoceńskiego wulkanu, datowanego na 11000-7000 lat (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991). Zlokalizowany jest na uskoku o rozciągłości NE-SW. Jego aktywność cechują gwałtowne eksplozje, połączone z powstawaniem kalder i okresami spokoju, trwającymi tysiąc lat (Vlodavetz, Piip, 1959, Bogoyavlenskaya, Torley 1982, Simkin, Siebert, 1994) (np. w latach 1955-1956, 1994, 2006). W czasie najbardziej gwałtownej erupcji w latach 1955-1956 nastąpiło właśnie takie zapadnięcie się stożka wulkanicznego, powstanie kaldery o średnicy 1,3x2,8 km, a w jej wnętrzu po SE stronie powstała kopuła ekstruzywna zbudowana z kwaśnych wulkanitów, która była wypiętrzana do góry, a następnie została rozerwana przez kolejną erupcję. Z krateru wyrzucany był materiał piroklastyczny. Aktualnie ciekawym obiektem geoturystycznym są potoki lawowe zlokalizowane w dolinach rzecznych po E i W stronie wulkanu, oraz drobne, ułożone linijnie szeregi kopuł po stronie S i W. W przeszłości produktami erupcji były ciemne andezyty zasobne w augit, obecnie jasne andezytobazalty zasobne w hornblendę, bogate w Al_2O_3 oraz andezyty, dacyty i tefra.

WULKAN ZIMINA

Jest olbrzymim stratowulkanem, o łącznej objętości 50 km³, składającym się z dwóch stożków: Owalnej i Ostrej Ziminy (Marhinin, Stratula, 1973, Fedotov, Masurenkov, 1991). **Wulkan Owalna Zimina (Ovalnaya Zimina) (3080 m n.p.m.)** położony jest na S od wulkanu Bezimiennego, na N od wulkanu Wielka Udina i na NE od wulkanów Płaskiego i Ostrego Tołbaczika (55°50'N-55°53'N, 160°34'E-160°38'E) (Fig. 13). Jest zerodowanym stratowulkanem o wieku holoceńskim, wyraźnie górującym nad okolicą. Od N obcięty jest doliną Suchej Chapicy, a od S doliną rzeki Prawyj Tołbaczik. Zbocza od NW i N pokrywa czapa lodowa. Na zboczach wulkanu widoczne są liczne spływy rumoszowe, powstałe z



Fig. 11. Widok na szczyt Kamienia (4579 m n.p.m.), będącego fragmentem rozerwanej kaldery wulkanicznej od NW, fot. M. Łodziński
• Summit of the Kamen volcano (4,579 m a.s.l.) from the northwest, a fragment of disrupted caldera, phot. M. Łodziński



Fig. 12. Jeden z najbardziej aktywnych wulkanów grupy Kluczewskiej, zbudowany z andezytobazaltów – wulkan Bezimienny (2869 m n.p.m.). Widok od SW, fot. M. Łodziński
• The Bezymianny volcano (2,869 m a.s.l.) seen from the southwest – one of the most active volcanoes of the Klyucheovsky group composed of andesitic basalts, phot. M. Łodziński



Fig.13. Widok z płaskowyżu wulkanicznego na SW od wulkanu Bezimienny w stronę SE, w kierunku wulkanu Owalna Zimina (3080 m n.p.m.), fot. M. Łodziński • View to the southwest, from the Bezimyanni volcano towards the Ovalnaya Zimina volcano (3,080 m a.s.l.), phot. M. Łodziński



Fig. 15. Brzeg krateru wulkanu Kluczewskiego (4688 m n.p.m.) pokryty popiołem i żuzłem wulkanicznym, fot. M. Łodziński • The edge of the Klyuchevsky crater (4,688 m a.s.l.) covered with tuff and lapilli, phot. M. Łodziński



Fig. 14. Widok na wulkany Ostry Tołbaczik (3672 m n.p.m.) – po prawej i Płaski Tołbaczik (3085 m n.p.m.) – po lewej, pokryty czapą lodową, od NE, z lodowca Bogdanowicza, fot. M. Łodziński • Widok na wulkany Ostry Tołbaczik (3672 m a.s.l.) – po prawej i Płaski Tołbaczik (3085 m a.s.l.) – po lewej, pokryty czapą lodową, od NE, z lodowca Bogdanowicza, phot. M. Łodziński



Fig. 16. Wnętrze krateru wulkanu Kluczewskiego (4688 m n.p.m.) od S, fot. M. Łodziński • View from the south into the Klyuchevsky crater (4,688 m a.s.l.), phot. M. Łodziński

upłynnienia materiału o różnej frakcji, przez przepojenie go wodą z topniejącego lodowca. Na W od wulkanu znajdują się niewysokie stożki pasożytnicze z kraterami np. o wysokości 100 metrów – Jupiter, przypominające księżycowy krajobraz. **Wulkan Ostra Zimina (Ostraya Zimina) (około 3050 m n.p.m.)** graniczy na NW z Owalną Ziminą, położony jest na S od wulkanu Bezimiennego, na N od wulkanu Wielka Udina i na NE od wulkanów Płaskiego i Ostrego Tołbaczika (55°50'N-55°51'N, 160°38'E-160°41'E). Jest typowym, o stromych zboczach stratowulkanem o wieku holoceńskim, tworzącym wraz z Owalną Ziminą grzbiet o rozciągłości NW-SE. Wschodnie zbocze wulkanu pokryte jest licznymi stożkami pasożytniczymi np. jednym z lepiej zachowanych jest Povorotnaya Sopochka. Oba wulkany od czasów historycznych nie wyrzucają już law bazaltowych i dacytowych.

WULKAN WIELKA UDINA (Bolshaya Udina) (2920 m n.p.m.)

Znajduje się na SE od wulkanów Płaskiego i Ostrego Tołbaczika oraz na SW od Ziminy (55°42'N-55°48'N,

160°29'E-160°34'E). Jest typowym holoceńskim stratowulkanem, obcięty ze wszystkich stron dolinami rzecznyymi np. od W doliną rzeki Tolud, od N, E i S doliną rzeki Prawyj Tołbaczik. Wulkan Udina składa się z dwóch regularnych stożków położonych na wzniesieniu o rozciągłości ESE-WNW, z których wyższy, zachodni zwany jest Wielką Udiną, a niższy, wschodni Małą Udiną (1945 m n.p.m.) (Marhinin, Stratula, 1973, Fedotov, Masurenkov, 1991). Wielka Udina zbudowana jest z andezytów, które w SW narożu tworzą kopułę. Jej zbocza silnie są pocięte siecią erozyjnych parowów, schodzących w dół prostopadle do poziomicy. Mała Udina utworzona jest z law bazaltowych. Wulkan nie był aktywny w czasach historycznych. Produktami jego erupcji były andezyty, bazalty i dacyty.

WULKAN TOŁBACZIK

Tworzy masyw o rozciągłości W-E i składa się z dwóch kontrastujących ze sobą morfologicznie stożków (stratowulkanu i wulkanu tarczowego): Ostrego i Płaskiego Tołbaczika (Fig. 14). **Wulkan Ostry Tołbaczik (Ostry Tołbachik) (3672 m n.p.m.)** znajduje się na NW od Wielkiej Udiny, na W od Ziminy i na SW od Bezimiennego, Kamienia i Kluczewskiej Sopki (55°49'N-55°51'N, 160°15'E0-160°22'E W). Jest strato-



Fig. 17. Krawędź dymiącego krateru wulkanu Kluczewskiego (4688 m a.s.l.). Widok na E, fot. M. Łodziński • Edge of the steaming crater of the Klyuchevsky volcano (4,688 m a.s.l.), view from the east (phot. M. Łodziński).

wulkanem, którego szczyt pokryty jest lodowcem, spod którego można dopatrzeć się gęstej sieci barrancos, wyżłobionej w bazaltowym podłożu. **Wulkan Płaski Tołbaczik (Plosky Tolbachik) (3085 m n.p.m.)** położony jest na E od Ostrego Tołbaczika (55°49'N-55°51'N, 160°22'E-160°28'E). Płaski jest bazaltowym wulkanem tarczowym. Północne jego zbocza przykrywa lodowiec. W jego kraterze znajduje się zapadnięta kaldera typu hawajskiego, o średnicy 3 km, powstała około 6500 lat temu (Erlich, 1986, Fedotov, Masurenkov, 1991). Wewnątrz tej kaldery znajduje się mniejsza kaldera o średnicy 1,8-2 km, wypełniona jeziorem kraterowym oraz na jej dnie utworzony został w 1976 roku wewnętrzny krater o średnicy do 400 m i wysokości 200 m. Wtedy też powstały 4 stożki popiołowe, a pokrywy lawowe zajęły powierzchnię 40 km² (Fedotov, Markhinin, 1983). Wylewy law bazaltowych odbywały się wzdłuż szczeliny o rozciągłości NE-SSW, chemicznie były to plagiofirowe bazalty bogate w Al₂O₃ oraz augitowo-oliwinowe bazalty bogate w MgO. Cały masyw Tołbaczika poprzecinany jest przez dajki bazaltowe. W przeszłości erupcje były typu lateralnego i szczelinowego, a obecnie głównie centralnego (typ hawajski), poprzerywane krótkimi epizodami eksplozywnymi (np. w latach 1954, 1961-1962, 1967-1970, 1975-1976, 1994, 1999). Wulkan Tołbaczik jest miejscem, gdzie w ostatnim okresie czasu odkryto wiele



Fig. 18. Czoło potoku lawowego zbudowane z law andezyto-bazaltowych na S od wulkanu Uszkowskiego (3903 m n.p.m.). W górnych partiach potoku widoczne są lawy trzewiowe, a w dolnych lawy blokowe, fot. M. Łodziński • Front of andesitic-basaltic lava flow south from the Ushkovsky volcano (3,903 m a.s.l.). Pahoehoe lava occurs in the upper part of the flow and aa lava is seen in the lower part, phot. M. Łodziński



Fig. 19. Dolina rzeki Studennaja, wypływająca z lodowca Bogdanowicza i przecinająca płaskowyż wulkaniczny utworzony z miękkiego materiału piroklastycznego, na SW od wulkanu Bezymienny (2869 m m.n.p.). Na brzegu widoczny jest niedźwiedź, fot. M. Łodziński • The Studennaya River valley southwest from the Bezymiannyi volcano (2869 m a.s.l.). The river flows out of the Bokhdanowich glacier and erodes the volcanic plateau built of soft pyroclastics. Bear can be seen at the river bank, phot. M. Łodziński

nowych minerałów m.in.: bradaczekit (Filatov *et al.*, 2001), burnsyt (Krivovichev *et al.*, 2002) i filatovit (Vergasova *et al.*, 2004).

Przejawy wulkanizmu

W masywie Kluczewskiej najpospolitszymi przejawami wulkanizmu są stromo-nachylone stratowulkany, charakteryzujące się wielkimi kraterami (Fig. 15-17), gwałtownymi erupcjami, połączonymi z rozrywaniem kraterów, zmianami wysokości wulkanu i zapadaniem się dna kraterów tworząc kaldery np. nieczynny wulkan Kamień lub czynny wulkan Bezymienny. Pod względem chemicznym wulkany wyrzucają skały wylewne o składzie obojętnym (bazalty, andezyty)



Fig. 20. Jęzor lodowca Bogdanowicza, rozcięty przez rzekę lodowcową, niosącą materiał wulkaniczny i piroklastyczny o różnej frakcji. Na powierzchni lodowca osiada w dużych ilościach popiół wulkaniczny z pobliskiego wulkanu Kluczewskiego, fot. M. Łodziński • The Bokhdanowich glacier dissected by glacial river which carries various fractions of volcanic and pyroclastic material. Glacier surface covered with tuff derived from the Klyucheovsky volcano, phot. M. Łodziński



Fig. 21. Widok na SW, na lodowiec Bogdanowicza wypełniający dolinę między wulkanami Kluczewskim i Kamień na E i Ushkovskim na W. Strefa ablacji lodowca w porze letniej odznacza się bardzo dużą ilością niesionego materiału wulkanicznego i wieloma szczelinami lodowcowymi, fot. M. Łodziński • View to the southwest, towards the Bokhdanowich glacier which fills the valley between the Klyucheovsky and the Kamen volcanoes in the east, and the Ushkovsky volcano in the west. In summer the ablation zone of the glacier shows large quantities of volcanic material and numerous fissures, phot. M. Łodziński



Fig. 22. Morena boczna lodowca Bogdanowicza, z licznymi szczelinami lodowcowymi, silnie zasilana materiałem wulkanicznym, fot. M. Łodziński • Lateral moraine of the Bokhdanowich glacier with numerous fissures, intensively supplied with the volcanic material, phot. M. Łodziński

i kwaśnym (dacyty i riolity). Rzadziej spotykane są wulkany tarczowe o łagodniejszych zboczach, wyrzucające lawy bardziej płynne o charakterze bardziej zasadowym i w morfologii tworzące wzniesienia o łagodniejszych zboczach, a ich erupcje nie są tak gwałtowne. Oprócz wyraźnie zaznaczających się w morfologii, dużych stratowulkanów do interesujących obiektów geoturystycznych należą położone na ich zboczach formy mniejszej skali jak: stożki pasożytnicze zbudowane z materiału piroklastycznego o różnej frakcji np. popiołu, czy żużlu. Interesujące obiekty znajdują się też w naturalnych przekrojach np. warstwowania materiału piroklastycznego w przekrojach kraterów, czy systemy intruzji niezgodnych – dajek i zgodnych – sillów przecinające zbocza wulkanów i głębokie kaniony. Wreszcie mniej urozmaicone morfologicznie potoki i pokrywy lawowe (Fig. 18) oraz pokrywy ignimbrytowe i tufowe (Fig. 19), które niekiedy porozcinane są przez głębokowcięte kaniony, którymi płyną rzeki okresowe tworzące malownicze wodospady, gdy rzeka przecina warstwy skalne o znacznych różnicach w odporności na erozję. W warunkach klimatycznych Kamczatki skały te podlegają intensywnemu wpływowi wietrzenia fizycznego i chemicznego, a także erozji lodowcowej i rzecznej. Już na zboczach wulkanów pojawiają się regularne systemy bruzd erozyjnych zwane barrancos. Następnie u podnóża wulkanów w dolinach lodowcowych występują różnej skali formy erozji i akumulacji lodowcowej jak np. moreny czołowe, boczne, silnie zasilane materiałem wulkanicznym, wyglądy lodowcowe, formy ablacji lodowcowej itp. (Fig. 9, 20-22).

Zakończenie

Zwiedzanie wulkanów masywu Kluczewskiej odbywa się bez jakichkolwiek ograniczeń i to jest chyba najwspanialszą cechą geoturystyki na Kamczatce, że w odróżnieniu od wulkanów i zjawisk wulkanicznych Europy, Turcji, czy Stanów Zjednoczonych można stanąć na krawędzi dymiącego krateru i zajrzeć do jego wnętrza.

Grupa wulkanów Kluczewskiej Sopki znajduje się w pobliżu głównej infrastruktury drogowej, ale dojście do kraterów



Fig. 23. Pierwsze przejawy życia na glebie wulkanicznej składającej się z bomb i popiołu wulkanicznego, fot. M. Łodziński • First signs of life at the surface of volcanic soil formed over the lapilli and tuff, phot. M. Łodziński

wulkanów wymaga kilkudniowego trekingu. Najprostszym, lecz kosztownym sposobem dotarcia do nich są przeloty helikopterem. Dla osób mających więcej czasu możliwe są trekingi lub eskapady konne, a także spływy pontonami. Czas trwania takich wypraw wynosi od kilku do kilkunastu dni.

Paradoksem na Kamczatce jest to, że regularnie, co kilka lat dochodzi tutaj do gwałtownej erupcji jednego z wulkanów, a mimo to największe miasta i kurorty wypoczynkowe znajdują się u podnóża czynnych wulkanów. Wulkany przyciągają ludzi. Stolica Kamczatki (dwustutysięczne miasto – Pietropawłowsk Kamczacki) położone są po południowej stronie czynnego wulkanu Awaczyńskiego. Liczne wsie np. Anawgaj, Esso (Fig. 24), Małki, Nacziki, Paratunka, Pauzetka, Termalny powstały tylko, dlatego, że wykorzystują ciepło geotermalne do ogrzewania domów, do produkcji energii i całorocznej uprawy płodów rolnych w szklarniach, mimo że przez większą część roku na zewnątrz pola pokryte są śniegiem.

Zwiedzając wulkany Kamczatki każdy ma szansę natknąć się na przejawy współczesnego wulkanizmu (wulkany tarczowe, stratowulkany, kopuły ekstruzywne, kaldery, pokrywy ignimbrytowe, potoki błotne (lahary), ekshalacje gazów i par, wykwyty siarkowe i o innym składzie, gejzery, wulka-



Fig. 24. Basen geotermalny w uzdrowiskowej miejscowości Esso w Grzbiecie Środkowym. Ciepło wód geotermalnych wykorzystywane jest do kąpieli leczniczych, ale przede wszystkim do ogrzewania domów i upraw szklarniowych przez cały rok, fot. M. Łodziński • Geothermal pool in the Esso spa (Central Ridge). Geothermal energy is utilized not only for the therapeutic baths but, mostly, for the year-round house and greenhouse heating, phot. M. Łodziński

ny błotne itp.).

Kamczatka mimo, że kojarzona jest niemal wyłącznie z wulkanami jest też interesująca geologicznie pod innymi względami. W rzekach Kamczatki występują aluwialne złoża złota, platyny i innych ciężkich minerałów (Tolstykh *et al.*, 2000), a także złoża srebra i rtęci. W skałach zmetamorfizowanych pod wpływem metamorfizmu kontaktowego spotykane są kamienie półszlachetne jak np. zielone granaty demantoidy.

Największym walorem masywu Kluczewskiej jest możliwość obejrzenia i zrozumienia różnych procesów geologicznych na stosunkowo niewielkim obszarze, których przejawem są różne formy wulkaniczne i erozyjne, dobrze zachowane i odsłonięte w naturalnych przekrojach w ścianach kalder, czy w przełomach rzecznych. Oprócz walorów geoturystycznych masyw Kluczewskiej obfituje w atrakcje przyrodnicze – wysokogórska flora, która zasiedla gleby wulkaniczne (Fig. 23), liczne mchy i porosty, tundra i w niższych partiach masywu tajga z wiewiórkami, susłami, lisami, niedźwiedziami, sobolami i rosomakami. □

Summary

Geotouristic attractions of the Klyuchevskoy group volcanoes, North Kamchatka, Russia

Łodziński, M.

The Kamchatka Peninsula is an area of far underestimated and underdeveloped geotouristic values. The potential of this area results from the position of the peninsula within the Circum-pacific Ring of Fire, i.e. the zone roughly following the coasts of continents around the Pacific Ocean, in which a large number of active volcanoes is located (only in the area of Kamchatka there are 160 volcanoes). This position is

closely connected with the boundary between the Pacific plate and the Okhotsk microplate (Turner *et al.*, 1998, Konstantinovskaia, 2000, Gaedicke *et al.*, 2000, Golonka *et al.*, 2003, Kozhurin, 2004, Kozhurin *et al.*, 2006, Portnyagin *et al.*, 2007) (Fig. 1-3).

The common name of Kamchatka is “the Land of Fire and Ice”. Geographically, the peninsula comprises alternating morphological depressions and heights (from the west): the Western Kamchatka Lowland, the Kamchatka Mts. (the Central Ridge), the Central Kamchatka Lowland (also known as the Central Kamchatka Depression) and the Eastern Ridge steeply descending towards the Pacific coast.

The high activity of the Kamchatka volcanoes and the geological structure of the peninsula are closely controlled by the boundary between the Pacific plate and the Okhotsk

microplate (Fig. 2, 3). In Kamchatka the surface manifestation of this boundary is the so-called “Koryak-Kamchatka volcanic belt” and the Kurile volcanic island arc. At the ocean floor the boundary appears as the Kuril and the Kamchatka continental trenches, well-recognizable in the ocean-floor relief as each of them reaches 10.5 km depth (Fig. 2). Along the trenches the Pacific plate dips to the west at 40° and continues down the upper mantle to 650 km depth. Along the Benioff zone the numerous earthquakes were recorded of hypocenters descending from several kilometers in the east down to 500-650 km beneath the peninsula, concordantly with the subducted Pacific plate (Fig. 2). Average subduction rate is 9 cm/rok (Zonenshain *et al.*, 1990).

Geological record evidence the existence of several, fossil subduction zones in the northeast Asia (Zonenshain *et al.*, 1990, Turner *et al.*, 1998, Konstantinovskaia, 2000, Gaedicke *et al.*, 2000, Konstantinovskaia, 2001, Golonka *et al.*, 2003, Kozhurin, 2004, Kozhurin *et al.*, 2006, Portnyagin *et al.*, 2007) related to the collisions of e.g., the Kolyma-Okhotsk block or the Chukotka plate (Zonenshain *et al.*, 1990, Golonka *et al.*, 2003) (Fig. 2, 3). Their remains are recently recognized magmatic belts, e.g., Okhotsk-Chukotskyi (OC), Koryak-Kamchatka (KK) or Koni-Murgal (KM), and a number of amalgamated terranes, e.g. the Central Ridge (SM), the Kronotsky Ridge (KRA) and the Kamchatskyi Mys as well as terranes which are not amalgamated, as yet, e.g. the Kara-gin terrane.

The Koryak-Kamchatka belt includes structures located between the Okhotsk-Chukotskyi belt and the Pacific Ocean. It was formed during the subduction of the Pacific plate along the Kuril-Kamchatka trench, which has commenced in the Oligocene (35 Ma) (Fig. 2, 3). The belt has been deformed in several orogenic events since the Middle Cretaceous until recent. It is an accretional structure – an agglomerate of 21 microterranes.

The Koryak-Kamchatka belt embraces three structural-lithological complexes of successively younger ages (Stavsky *et al.*, vide Zonenshain *et al.*, 1990). From the west these are: 1) volcanic complex (fossil continental margin of the volcanic belt), 2) flysch and pyroclastic complex (fossil fore-arc basin) and 3) terranes surrounded with the flysch complex and the serpentinite melange (accretional prisms).

The oldest parts of the Kamchatka belt are: the Central Ridge and the Genal Massif composed of schists and gneisses of inferred age 1.3 Ga (Kuzmin, Chekhonin, 1980).

In the Kamchatka area volcanic activity has commenced in the Cretaceous. Its climactic eruptivity has started in the Upper Pliocene. The typical example of recent volcanism in Kamchatka is the Eastern Ridge with the Kluchevskaya group dominated by andesites (Fig. 1, 2, 4). The group, bordered from the west and the north by the Kamchatka River (Fig. 5) towers over the adjacent lowland. The volcanoes are covered by numerous glaciers (Fig. 6).

The Kluchevsky Volcano (4,688 m a.s.l., elevation changes after each eruption), (56°05'N-56°11'N, 160°38'E-160°47'E) is a symmetric stratovolcano of slope inclination 33-45° and 45 km in diameter at the base. The explosive-effusive volcano (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991) (Fig. 7) belongs to the most active in the whole Kam-

chatka. Eruptions proceed from the central crater and from numerous parasitic cones as well as from fissures. In the crater walls basalts, andesites and multicoloured pyroclastics can be observed. The volcanics are mostly high-MgO, high-Al₂O₃ basalts and andesitic basalts.

The Plosky Volcano includes two cones: **Krestovsky (4,057 m a.s.l.)** (56°06'N-56°08'N, 160°29'E-160°31'E) and **Ushkovsky (3,903 m a.s.l.)** (56°04'N-56°07'N, 160°26'E-160°28'E) (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991). The first is a typical stratovolcano of steep slopes covered with ice (Fig. 8) whereas the second is a broad (4.5x5.5 km), almost flat caldera also capped with ice. Both volcanoes were explosive, releasing lava and pyroclastics. Recently, between both cones there is a firn field of the Erman and the Bokhdanovich glaciers (Fig. 9, 10).

The Kamen Volcano (4,579 m a.s.l.) (56°02'N-56°05'N, 160°35'E-160°38'E) (Fig. 11) is recently inactive, its summit covered with ice is a fragment of disrupted caldera. In the vicinity there exists another volcano: **Bezmyannyi (2,869 m a.s.l., elevation changes after eruption)** (55°58'N-56°02'N, 160°35'E-160°43'E) (Fig. 12). This is a typical stratovolcano (Gushchenko, 1979, Fedotov, Masurenkov, 1991) located at the NE-SW-trending fault and famous of its violent, caldera-building explosions separated by dormancy periods lasting about 1,000 years each (Vlodavetz, Piip, 1959, Bogoyavlenskaya, Torley 1982, Simkin, Siebert, 1994). In the past the eruption products were dark, augite-rich andesites. Recently, these are light andesites, rich in hornblende and Al₂O₃, dacites and tuffs.

The Zimina Volcano is a huge stratovolcano built of two cones: **Ovalnaya Zimina (3,080 m a.s.l.)** (55°50'N-55°53'N, 160°34'E-160°38'E) (Fig. 13) and **Ostraya Zimina (about 3,050 m a.s.l.)** (55°50'N-55°51'N, 160°38'E-160°41'E). Both are eroded, basaltic and andesitic stratovolcanoes with numerous, well-visible parasitic cones scattered on the slopes. Both volcanoes have been inactive during the historical times.

The Bolshaya Udina Volcano (2,920 m a.s.l.) (55°42'N-55°48'N, 160°29'E-160°34'E) is a typical stratovolcano with two regular cones: andesitic Bolshaya Udina and basaltic Malaya Udina (Marhinin, Stratula, 1973, Fedotov, Masurenkov, 1991).

The Tolbachik Volcano forms a W-E-trending massif composed of two contrasting cones: the stratovolcano **Ostryi Tolbachik (3,672 m a.s.l.)** (55°49'N-55°51'N, 160°15'E-160°22'E W) and the shield volcano **Plosky Tolbachik (3,085 m a.s.l.)** (55°49'N-55°51'N, 160°22'E-160°28'E) (Fig. 14). The crater of the Plosky is a collapsed caldera of Hawaiian type, 3 km in diameter (Erlich, 1986, Fedotov, Masurenkov, 1991). The volcano erupts plagiophyric, Al₂O₃-rich and augite-olivine, MgO-rich basalts.

In the whole Klyuchevsky Massif the most common are steep-sloped stratovolcanoes with large craters (Fig. 15-17) characterized by violent eruptions, caldera collapses and disruptions, resulting in changes of elevations of the cones. In the vicinity of the cones the visitor can examine morphologically diverse lava flows (Fig. 18) as well as ignimbrite and tuff beds (Fig. 19) sometimes incised into deep canyons. At the foot of volcanoes, in glacial valleys various forms of glacial erosion and accumulation are visible: terminal and

lateral moraines built of pyroclastic material, roches moutonnées, various forms of glacial ablation, etc. (Fig. 9, 20–22).

The leading valour of the Klyuchevsky Massif is that a variety of geological processes can be examined over a relatively limited area. Despite the geotouristic attractions, the massif provides other amenities: high-mountain flora which

settles the volcanic soils (Fig. 23) with a variety of mosses and lichens, the tundra ecosystem and, at the lower parts of the massif - the taiga ecosystem with characteristic fauna: squirrels, gophers, foxes, bears and volverines.

This research was supported by AGH University of Science and Technology grant DS 11.11.140.447.

Literatura (References)

- Bocharova N.Y., Golonka J., Meisling K.E., 1995. Tectonic evolution and sedimentary basins of the eastern regions of Russia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79: 580.
- Bogoyavlenskaya G.Y., Torley R., 1982. 25 years of activity at Bezymianny. *Volcano News*, 13: 6–7.
- Didenko A., Harbert W., Stavsky A., 1993. Paleomagnetism of Khatyrka and Maynitsky superterrane, Koryak Highlands, far eastern Russia. *Tectonophysics*, 220: 141–156.
- Erlach E., 1986. Geology of calderas of Kamchatka and Kurile Islands with comparison to calderas of Japan and the Aleutians, Alaska. *Open-File Report 86-291, US Dept. of the Interior- Geological Survey*: 165–170.
- Fedotov S.A., Markhinin Ye.K., 1983. *The great Tolbachik fissure eruption*. Cambridge Univ. Press, New York, 341 pp.
- Fedotov S.A., Masurenkov Yu.P., 1991. *Active volcanoes of Kamchatka. Vol. 1*. Nauka, Moscow, 300 pp.
- Filatov S.K., Vergasova L.P., Gorskaya M.G., Krivovichev S.V., Burns P.C., Ananiev V.V., 2001. Bradaczekite, $\text{NaCu}_4(\text{AsO}_4)_3$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka Peninsula, Russia. *Canadian Min.*, 39: 1115–1119.
- Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N., Alexeiev D., Tsukanov N., Freitag R., 2000. Structure of an active arc-continent collision area: the Aleutian–Kamchatka junction. *Tectonophysics*, 325: 63–85.
- Golonka J., Bocharova N.Y., Ford D., Edrich M.E., Bednarczyk J., Wildharber J., 2003. Paleogeographic reconstructions and basins development of the Arctic. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 211–248.
- Gorbatov A., Kostoglodov V., Suarez G., Gordeev E., 1997. Seismicity and structure of the Kamchatka subduction zone. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 102: 17833–17898.
- Gushchenko I.I., 1979. *Eruptions of world volcanoes. Catalogue*. Nauka, Moscow, 475 pp.
- Konstantinovskaia E.A., 2000. Geodynamics of an Early Eocene arc–continent collision reconstructed from the Kamchatka Orogenic Belt, NE Russia. *Tectonophysics*, 325: 87–105.
- Konstantinovskaia E.A., 2001. Arc-continent collision and subduction reversal in the Cenozoic evolution of the Northwest Pacific: an example from Kamchatka (NE Russia). *Tectonophysics*, 333: 75–94.
- Kozhurin A., Acocella V., Kyle P.R., Lagmay F.M., Melekestsev I.V., Ponomareva V., Rust D., Tibaldi A., Tunesi A., Corazzato C., Rovida A., Sakharov A., Tengonciang A., Uy H., 2006. Trenching studies of active faults in Kamchatka, eastern Russia: Palaeoseismic, tectonic and hazard implications. *Tectonophysics*, 417: 285–304.
- Kozhurin A.I., 2004. Active faulting at the Eurasian, North American and Pacific plates junction. *Tectonophysics*, 380: 273–285.
- Krivovichev S.V., Vergasova L.P., Starova G.L., Filatov S.K., Britvin S.N., Roberts A.C., Steele I.M., 2002. Burnsita, $\text{KCu}_2\text{O}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka Peninsula, Russia. *Canadian Min.*, 40: 1171–1175.
- Kuczyński A., 2007. *Syberia. 400 lat polskiej diaspory*. Wyd. Kubajak, Krzeszowice, 544 pp.
- Kuzmin V.I., Chekhonin A.P., 1980. On the Precambrian age of gneisses in the Kamchatka massif. *Dokl. AN SSSR*, 251: 932–935.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Shapiro M.N., 1997. Late Cretaceous paleomagnetism of the East Ranges island arc complex. Kamchatka: implications for terrane movements and kinematics of the northwest. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 102: 24843–24857.
- Lodziński, M., 2008. Geotouristic attractions of the Klyuchevskoy group volcanoes, Kamchatka orogenic belt, NE Russia”. IV International Conference – Geotour 2008, 26–28.06.08, Kraków, Poland – Book of abstracts, AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, IAGT – International Association for Geotourism: 37–39.
- Marhinin E.K., Stratula D.S., 1973. Relationship between chemical composition of volcanic rocks and depth of the seismofocal layer as shown by the Klyuchevskaya volcanic group (Kamchatka) and the Kurile-Kamchatka island arc. *Bull. of Volcanology*, 37: 175–182.
- Parfenov L.M., Natapov L.M., Sokolov S.D., Tsukanov N.V., 1993. Terranes and accretionary tectonics of Northeastern Asia. *Geotectonics*, 27: 62–72.
- Portnyagin M., Hoernle K., Plechov P., Mironov N., Khubunaya S., 2007. Constraints on mantle melting and composition and nature of slab components in volcanic arcs from volatiles (H_2O , S, Cl, F) and trace elements in melt inclusions from the Kamchatka Arc. *Earth and Planetary Science Letters*, 255: 53–69.
- Simkin T., Siebert L., 1994. *Volcanoes of the World*. Geoscience Press, Tucson, Arizona, 349 pp.
- Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Laajoki K.V.O., Krivenko A.P., Podlipskiy M., 2000. The association of platinum-group minerals in placers of the Pustaya River, Kamchatka, Russia. *Canadian Mineralogist*, 38: 1251–1264.
- Turner S., McDermott F., Hawkesworth C., Kepezhinskis P., 1998. A U-series study of lavas from Kamchatka and the Aleutians: constraints on source composition and melting processes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 133: 217–234.
- Vergasova L.P., Krivovichev S.V., Britvin S.N., Burns P.C., Ananiev V.V., 2004. Filatovite, $\text{K}[(\text{Al}, \text{Zn})_2(\text{As}, \text{Si})_2\text{O}_8]$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. *Eur. J. Min.*, 16: 533–536.
- Vlodavetz V.I., Piip B.I., 1959. *Catalog of active volcanoes of the world. Part VIII, Kamchatka and continental areas of Asia*. Rome, IAVCEI, 8: 110.
- Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M., 1990. *Geology of the USSR: A plate-tectonic synthesis*. In B.M. Page (Ed.), Geodynamice series 21. Washington, DC: America Geophysical Union, 149–167.