

УДК 550.34+550.344.42+551.432.7(571.645)

Международная экспедиция «Камчатка-2016»

Выполнены комплексные геолого-геофизические, геоморфологические и геоэкологические исследования на вулканах Мутновский, Ходутка, Приемыш, Ксудач и Ильинский (Южная Камчатка), включающие измерение спектральных характеристик в пределах вулканических построек и сопредельных с ними территорий, описание ландшафтов и растительности, изучение современного состояния газогидротермальной активности, батиметрическую (эхолотную) съемку кратерных озер. По итогам работ сформирован представительный массив данных, характеризующих предметно-специфические признаки изученных ландшафтов.

Ключевые слова: Камчатка, вулканизм, ландшафты, флора, кратерные озера, спектральные характеристики.

International expedition «Kamchatka-2016»

Submitted complex geological and geophysical, geomorphological and geoecological studies on Mutnovsky, Khodutka, Priemysh, Ksudach and Ilyinsky (Southern Kamchatka) volcanoes, including measurement of the spectral characteristics at the volcanic edifices and adjacent territories, description of landscapes and vegetation, the study of the current state of gas and hydrothermal activity, bathymetric (sounding) survey of the crater lakes. As a result of works a representative data array was formed which describes the particular characteristics of the landscapes.

Key words: Kamchatka, volcanism, landscape, flora, crater lakes, spectral characteristics.

Введение

В период с 13 июля по 3 августа 2016 г. на п-ове Камчатка проходила реализация второго, заключительного этапа экспедиционных работ в рамках программы «Мониторинг-СТ-1.3.1.2ЮС» по теме «Создание базы данных предметно-специфических признаков и спектральных характеристик, полученных на наземных контрольно-калибровочных полигонах в сейсмически и вулканически активных зонах, на основе полевых



Рис. 1. Участники экспедиции «Камчатка-2016»

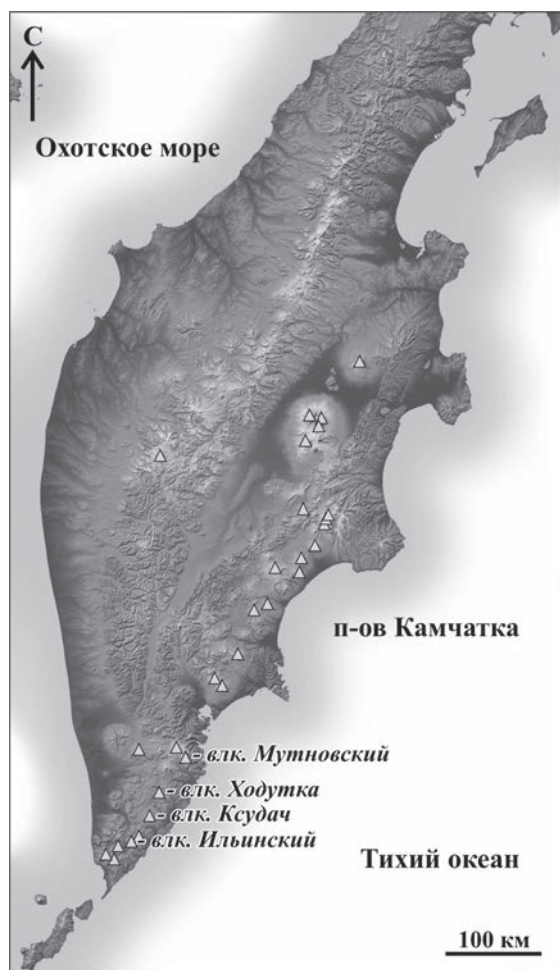


Рис. 2. Схема района работ (использована топографическая основа SRTM (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03374>). Треугольниками отмечены действующие и потенциально активные вулканы Камчатки

(in situ) измерений экспериментальным спектральным аппаратно-программным комплексом» в рамках договора между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Институт географии Российской академии наук» (Головной исполнитель СЧ НИР «Мониторинг-СГ-1.3.1.2») и Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» (в лице НИИ КС имени А.А. Максимова – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева») (заказчик, головной исполнитель НИОКР «Мониторинг-СГ»).

В экспедиции приняли участие 17 человек – специалисты из научных организаций Российской Федерации (ИМГиГ ДВО РАН, ИГ РАН, НИИ КС имени А.А. Максимова – филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) и Республики Беларусь (БГУ) (рис. 1).

Основным районом работ была южная Камчатка, в качестве объектов исследования были выбраны вулканы Мутновский, Ходутка, Приемыш, Ксудач, Ильинский (рис. 2). Доставка полевых отрядов осуществлялась с использованием вертолетов «Ми-8» авиакомпании «Вертикаль», за исключением вулкана Мутновский, к подножию которого участников экспедиции доставил вахтовый автобус «Урал».

Материалы и методы

В ходе работ были выполнены комплексные геолого-геофизические, геоморфологические и геоэкологические исследования, включающие измерение спектральных характеристик в пределах вулканических построек и сопредельных с ними территорий, описание ландшафтов и растительности, изучение современного состояния газогидротермальной активности, батиметрические (эхолотные) исследования кратерных озер.

При проведении спектрометрических измерений использовались приборы, созданные в отделе аэрокосмических исследований НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ (Минск, Республика Беларусь): ФСР (фотоспектрорадиометр) и ДМС (двухлучевой мобильный спектрорадиометр), регистрирующие спектральную информацию от различных наземных объектов и их фотоизображения.

Для выполнения инфракрасной и тепловой съемок использовались тепловизор Sat HotFind LXS и термометры Digitron T200KC. Проведение батиметрической съемки вулканических озер осуществлялось с помощью эхолота Lowrance LMS-527c DF iGPS.

Геоботаническое описание растительных сообществ и отдельных растительных группировок в зонах активного вулканизма выполнено с использованием стандартных методов, а также с учетом параметров, принятых при геоботанических исследованиях [7, 9].

Описание объектов и проведенных работ

С 14 по 18 июля проводились геоэкологические работы на **вулкане Мутновский**, расположенном в 70 км к юго-юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский (рис. 2). Действующий вулкан Мутновский (абс. выс. 2323 м) – один из самых высоких и активных (17 исторических извержений) вулканов южной Камчатки (рис. 3). Его постройка, образованная четырьмя слившимися базальтовыми стратовулканами, увенчана крупным (3×2 км) восьмеркообразным кратером [5]. Вулкан характеризуется проявлением интенсивной современной сольфатарной и гидротермальной активности, сосредоточенной преимущественно в терминальных кратерах (общая тепловая мощность, по данным [2, 5], составляет ~ 2000 МВт). В 8 км к северу от вершины находится Мутновская ГеоЭС, вблизи которой расположены две группы термальных источников – Медвежки и Дачные. Эти источники, являющиеся объектами массового туризма, и стали основными объектами геоэкологических исследований. В зонах разгрузки термальных вод выполнены краткие описания растительных сообществ. Газогидротермы Дачные представлены группой многочисленных парогазовых выходов, расположенных в русле ручья и по его склонам. Высокие стенки, обрамляющие зону разгрузки газогидротермальных выходов, образованы гидротермально измененными породами и лишены растительности. В условиях выполаживания склонов сформирована четкая граница растительности, представленная сообществами ольховника вейникового, а также ольховника с участием кустарниковых ив, рододендрона камчатского и спиреи Бовера. В границах растительности источников Дачные выполнены краткие геоботанические описания, отобраны образцы древесных растений (4 вида) в целях структурного анализа и оценки содержания химических элементов различных групп в скелетных побегах.

В период с 19 по 28 июля проведены комплексные геолого-геоморфологические и геоэкологические исследования на **вулкане Ксудач** (абс. выс. 1080 м). Ксудач – крупный (площадь ~ 490 км², объем ~ 120 км³), сложно построенный вулканический массив,



Рис. 3. Интенсивная фумарольная активность вулкана Мутновский. Фото А.В. Рыбина



Рис. 4. Вершинная часть вулканического массива Ксудач. В центре снимка – центральный конус Штюбеля, заполненный водами одноименного озера, на заднем плане – озеро Ключевое. *Фото А.В. Рыбина*

включающий две позднеплейстоценовые кальдеры, три голоценовые кальдеры, образовавшиеся соответственно 8850, 6350, 1800 лет назад, и молодой посткальдерный стратовулкан (рис. 4). По своему строению и количеству голоценовых кальдерообразующих извержений Ксудач не имеет аналогов на Камчатке [4, 6, 8]. Современной действующей постройкой массива является посткальдерный стратовулкан конус Штюбеля (абс. выс. 614 м), занимающий северную часть кальдерного комплекса (см. рис. 4). Его вершина срезана крупным ($1,5 \times 1,6$ км) кратером, открытым на северо-восток, формирование которого произошло в результате мощного эксплозивного извержения 1907 г. – единственного исторического извержения в пределах массива Ксудач. Кроме того, в пределах вулканического массива расположено два озера – Штюбеля (на севере) и Ключевое (на юге), по берегам которых отмечаются участки разгрузки гидротерм (тепловая мощность 230 МВт [6]).

В ходе работ выполнено описание опорных разрезов внутри кратера Штюбеля и голоценовых кальдер западного и восточного берегов оз. Ключевое с отбором проб для петролого-геохимических исследований. Детально описаны пирокластические чехлы последнего извержения, формирующие современный ландшафтный облик этой территории. Выполнены геоботанические описания растительных сообществ и отдельных группировок растений, отражающие разные стадии восстановительных сукцессий. Описание растительного покрова было выполнено на экстрезиях Парящий Утес и Парящий Гребень (в том числе непосредственно в участках локализации парогидротерм), а также на внутренних стенках центрального кратера конуса Штюбеля в непосредственной близости от уреза воды и имеющих выходы гидротерм; произведено картирование, выполнены промеры температур грунта и ботаническое описание Горячего пляжа (оз. Ключевое). Кроме того, на всех полигонах были отобраны образцы древесных растений, а также выполнен сбор мхов и лишайников – как фоновых, так и единичных, в том числе реликтовых, в местах наиболее интенсивных проявлений поствулканической активности (рис. 5).

Для озер Ключевое и Штюбеля, расположенных в пределах массива Ксудач (рис. 4), впервые за историю исследований выполнены высокоточные батиметрические работы: для озера Ключевое было получено 48 профилей, а для озера Штюбеля – 57 профилей, общая протяженность составила более 60 км; частота покрытия зеркала профилями –

8–12 профилей на 1 км². Первичный анализ цифровых батиметрических данных позволил впервые установить специфичные морфологические элементы озерных систем – подводные уступы, выходы газогидротерм, экструзивные и эффузивные куполы, воронки, а также определить их точные размеры и границы.

Параллельно с работой полевого отряда на вулкане Ксудач второй научной группой в период с 19 по 23 июля проведен маршрут от вулканического массива Ходутка (с восхождением на конус Приемыш) до вулкана Ксудач (рис. 2). Ходуткинский массив, расположенный в восточной части зоны активного вулканизма южной Камчатки, состоит из двух слившихся крупных стратовулканов – Приемыш (абс. выс. 1202 м) и Ходутка (абс. выс. 2090 м) (рис. 6). Приемыш более древний – 10–20 тыс. лет. Он сложен породами андезибазальтового и андезитового состава. Вулкан Ходутка сформировался в начале голоцена – менее 10 тыс. л. н. Состав его пород более кислый – андезиты, дациты. На склонах этих вулканов хорошо видны следы последних побочных извержений – экструзивные куполы, лавовые конусы, воронки взрыва. Три такие воронки образуют на северо-западном склоне вулкана Приемыш цепочку длиной около 2 км, вытянутую вдоль тектонического нарушения [1, 3]. Ходуткинские термальные источники расположены на левом берегу р. Правая Ходутка

у северо-западного подножия вулкана Приемыш, составляющего вместе с более молодым вулканом Ходутка единый массив. В ходе маршрута были проведены спектрометрические, вулканологические и геоботанические исследования. В частности, осуществлено описание растительного покрова близ Ходуткинских источников на термальных полях, а также по периферии – вплоть до каменноберезовых лесов, являющихся на исследуемой территории основной лесообразующей породой.

С 25 по 28 июля проводились работы на вулкане Ильинский – выполнен комплекс спектрометрических и вулканологических исследований (рис. 7). Для этого 26 и 27 июля по восточному склону вулкана совершены подряд два восхождения на его вершину. Вулкан Ильинский (абс. выс. 1578 м) расположен к северо-востоку от Курильского озера,

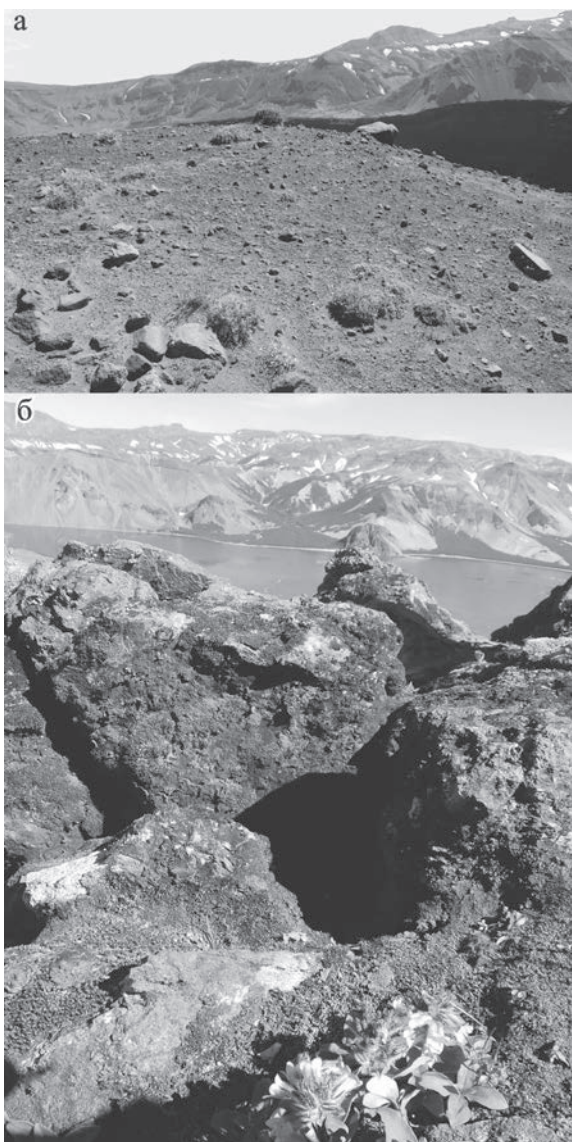


Рис. 5. Несомкнутые группировки растительности в кальдере Ксудач: а – поверхности пирокластических отложений на восточном склоне конуса Штюбеля; б – в пределах участков парогазовых выходов на экструзии Парящий Гребень. Фото А.В. Копаниной



Рис. 6. Общий вид вулканов Приемыш (слева) и Ходутка (справа). Фото *А.В. Дегтерева*

является одним из самых активных вулканов южной Камчатки в голоцене, последний раз извергался в 1901 г. после периода покоя длительностью ~ 1800 лет [2, 10]. В результате этого извержения была сформирована цепочка из четырех кратеров-воронок, самая крупная из которых имеет размер 800×1200 м и глубину ~ 400 м. Продукты вулкана представлены умеренно калиевой базальт-андезит-дацитовый серией, родственной породам кальдерообразующего извержения Курильского озера. Склоны и подножие вулкана покрыты мощными пемзовыми полями.



Рис. 7. Вулкан Ильинский (вид с востока). На переднем плане виден крупный эксплозивный кратер, образовавшийся в результате извержения 1901 г. Фото *А.В. Дегтерева*

Заключение

В рамках проекта по выбору тестовых участков для проведения наземных испытаний спектрального аппаратно-программного комплекса на южной Камчатке выполнены комплексные вулканологические, геоэкологические и спектрозональные исследования. Широкая вариабельность ландшафтов и типов подстилающих поверхностей в геодинамически активном районе позволила составить представительный массив данных, характеризующих их предметно-специфические признаки и спектральные характеристики. Полученные характеристики различных подстилающих поверхностей и выполненный выбор тестовых участков позволяют проводить калибровку спутниковой аппаратуры оптического дистанционного зондирования. Сопоставление наземных и спутниковых данных сделает возможным решать задачи распознавания и классификации объектов дистанционного зондирования, осуществлять коррекцию данных, получаемых из космоса.

Кроме того, получены новые данные, характеризующие современное состояние вулканов Ильинский и Ксудач, а также материалы о современном состоянии растительного покрова и древесной растительности в пределах действующих вулканических построек. Для озер Ключевое и Штубеля впервые за историю исследований были выполнены высокоточные батиметрические работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакин Е.А. Ходуткинские термальные источники // Вестн. КРАУНЦ. 2003. № 2. С. 56–69.
2. Действующие вулканы Камчатки: в 2 т. М.: Наука, 1991. Т. 2. 415 с.
3. Кирсанова Т.П., Мелекесцев И.В. О происхождении и возрасте Ходуткинских терм // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 49–59.
4. Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д. Вулкан Ксудач (Камчатка) за последние 10 тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 28–39.
5. Новейший и современный вулканизм на территории России / отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.
6. Пилипенко Г.Ф., Разина А.А., Фазлуллин С.М. Гидротермы кальдеры вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 43–57.
7. Работнов Т. А. Фитоценология: учеб. пособие для биол. факультетов вузов. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с.
8. Селянгин О.Б. Геологическое строение и эволюция кальдерного комплекса вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 16–27.
9. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к исследованию типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 104 с.
10. Ponomareva V., Zaretskaya N., Sulerzhitsky L., Dirksen O. Holocene eruptive activity of the Southernmost Kamchatkan volcanoes // 7th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKSP-2011), 25–30 August 2011. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2011. P. 162–163.

**РЫБИН Александр Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией,*

БОГОМОЛОВ Леонид Михайлович – директор, доктор физико-математических наук,

КОПАНИНА Анна Владимировна – кандидат биологических наук, заместитель директора по науке,

ДЕГТЕРЕВ Артем Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,

ЧИБИСОВА Марина Владимировна – научный сотрудник,

ЖАРКОВ Рафаэль Владимирович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник,

КОЗЛОВ Дмитрий Николаевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник,

ВЛАСОВА Инна Ивановна – кандидат биологических наук, научный сотрудник,

КОРОТЕЕВ Игорь Геннадьевич – инженер-исследователь,

КЛИМАНЦОВ Иван Михайлович – техник,
РОМАНЮК Федор Александрович – младший научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск),
ЛЕБЕДЕВА Екатерина Владимировна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Институт географии РАН, Москва),
БЕЛЯЕВ Юрий Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
ПАСЕНЮК Александр Александрович – младший научный сотрудник (НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь);
КОРОЛЕВ Александр Николаевич – заместитель директора,
КОРОВИН Геннадий Викторович – заместитель директора,
ПАВЛОВ Сергей Владимирович – научный сотрудник,
КИРИЛЛОВ Игорь Анатольевич – научный сотрудник (НИИ КС им. А.А. Максимова – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва).
*A.V. RYBIN, L.M. BOGOMOLOV, A.V. KOPANINA, A.V. DEGTEREV, M.V. CHIBISOVA, R.V. ZHARKOV, D.N. KOZLOV, I.I. VLASOVA, I.G. KOROTEEV, I.M. KLIMANTSOV, F.A. ROMANYUK (Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk);
E.V. LEBEDEVA (Institute of Geography, RAS);
Yu.V. BELYAEV, A.A. PASENYUK (A.N. Sevchenko Research Institute of Applied Physical Problems, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus);
A.N. KOROLEV, G.V. KOROVIN, S.V. PAVLOV, I.A. KIRILLOV (RII KS of A.A. Maksimov – branch of M.V. Khrunichyev FSUE, Moscow).

*E-mail: a.rybin@imgg.ru