

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ В ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСАХ ИНТЕРНЕТ

*В.А. Рашидов<sup>1</sup>, В.И. Бондаренко<sup>2</sup>, И.М. Романова<sup>1</sup>, А.А. Палуева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, rashidva@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *Костромской Государственный Университет им. Некрасова, г. Кострома, Россия*

### **Введение**

Курильская островная дуга (КОД) является типичной островной дугой Восточной Азии. С юго-востока она сопряжена с Курило-Камчатским глубоководным желобом, а с северо-запада граничит с Курильской котловиной. Охотоморский склон КОД осложнен подводными вулканами. Подводные вулканы имеют, как правило, конусообразную форму.

Планомерное изучение подводного вулканизма КОД было выполнено в 11 комплексных вулканологических экспедициях в рейсах НИС «Вулканолог» в 1981-1991 гг., в которых получен большой фактический материал и изучены 97 из 104 подводных вулканов КОД [1-17]. В комплекс исследований входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульная гидромагнитная съемка (ГМС) и драгирование.

По данным геофизических исследований в пределах КОД выделено 8 вулканических зон. Установлено, что подводные вулканы образуют цепочки, причленяющиеся, как правило, косо к Большой Курильской гряде. По-видимому, местоположение цепочек подводных вулканов контролируется магмовыводящими зонами разрывных нарушений. Нередко подводные вулканы объединены в массивы. Большинство подводных вулканов, как и наземных, имеют четвертичный возраст. На некоторых из них отмечены признаки недавних извержений.

К огромному сожалению, после 1991 г. полевые исследования подводных вулканов КОД практически прекращены. Первая обобщающая работа [13] была издана в 1992 г. ограниченным тиражом и, в настоящее время, является библиографической редкостью. Последующие статьи, посвященные геофизическим исследованиям подводных вулканов КОД, выполненные на современном уровне, отражали строение вулканических массивов и отдельных вулканов [6, 9-13, 14-17].

После катастрофического Суматра-Андаманского землетрясения 26 декабря 2004 г. у нас в стране вновь возник интерес к изучению вулканически и сейсмически активной КОД.

В сложившейся ситуации очень своевременным явилось создание авторами настоящей работы обобщающего web-сайта «Геофизические исследования подводных вулканов Курильской островной дуги», и размещение его в сети Интернет по адресу [http://www.kscnet.ru/ivs/grant\\_05/kyrily/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/grant_05/kyrily/index.html).

На сайте представлено детальное описание результатов исследований 12 подводных вулканов, вулканических массивов, вулканических хребтов и кальдер КОД, описана методика исследований, приведены публикации авторов и других исследователей, а также указаны ссылки на другие ресурсы Интернет по данной тематике.

Ниже приводится краткое описание разделов сайта без представления графических материалов. Заинтересованные читатели могут обратиться по указанному выше адресу и получить полную информацию о состоянии результатов геофизических исследований подводного вулканизма КОД в настоящее время.

**Плосковершинный подводный вулкан Григорьева** находится в 5.5 км к СЗ от о. Атласова (вулкан Алайд) и в 58 км от вулканического фронта (рис. 1). Он располагается на генеральной линии СЗ направления местоположения побочных кратеров вулкана Алайд, поднимаясь с глубин 800-850 м, а его основание срослось с основанием Алайда. Размеры вулкана Григорьева по основанию составляют 12.5×15 км, объем вулканической постройки около 40 км<sup>3</sup>. Крутизна склонов достигает 10°-15°. Вершина вулкана срезана абразией и снивелирована до уровня 120-140 м, что практически соответствует уровню моря в позднем плейстоцене. В ЮЗ части вершины отмечены скальные выступы, поднимающиеся до глубины 50-55 м, которые, возможно, образовались после формирования вершины и представляют собою голоценовые экстрезии или небольшие лавовые постройки.

На ЮЗ склоне вулкана отмечена цепочка скальных выступов СВ простирания с относительной высотой от 30 до 60 м и размерами в поперечнике – 400-650 м, которые, скорее всего, также являются экструзивными куполами или лавовыми конусами.



Рис. 1. Местоположение описываемых подводных вулканов КОД.

Цифрами, согласно [13], обозначены подводные вулканы и массивы: 1.1 - Григорьева, 1.2. – лавовые конусы у о. Парамушир, 1.4 –к западу от о. Парамушир, 2.1. - Белянкина, 2.2. - Смирнова, 3.1 – Эдельштейна, 3.18 – к северо-западу от о. Райкоке, 6.11 – Черных Братьев, 8.4 – Крылатка. Буквами обозначены: ХБ – подводный хребет Броутона, ХГ – подводный хребет Гидрографов, ЛП – кальдера Львиная Пасть.

По данным НСП, вулканическая постройка сложена, в основном, плотными вулканическими породами. Мощность осадочного чехла в окрестностях вулкана достигает 1.5–2 км. При драгировании вулкана Григорьева были подняты однотипные базальты. Остаточная намагниченность драгированных базальтов изменяется в диапазоне 1.47-28.45 А/м, магнитная восприимчивость –  $(2.39-94.83) \cdot 10^{-3}$  СИ, а отношение Кенигсбергера – от 1.24 до 22.65.

Подводный вулкан Григорьева создает интенсивную аномалию магнитного поля  $\Delta T$  мозаичного характера с амплитудой более 1400 нТл. Вулканическая постройка намагничена по направлению современного магнитного поля. Все выделенные по данным эхолотного промера и НСП скальные выступы в ЮЗ части плоской вершины и на ЮЗ склоне вулкана отчетливо проявляются в магнитном поле наличием локальных аномалий. Интерпретация данных ГМС позволяет говорить, что вся постройка вулкана Григорьева сложена однотипными высокоглиноземистыми базальтами. Наличие доголоценовой 120-140-метровой террасы и намагниченность вулканической постройки по направлению современного магнитного поля позволяет оценить возраст образования вулкана в интервале 700 – 10 тысяч лет назад.

**Лавовые купола** у о. Парамушир. На запад-северо-западном склоне о. Парамушир в тыловой части Курильской островной дуги, приблизительно посередине между вулканами Алаид и Анциферова (рис.1) расположена слабо проявленная поперечная вулканическая зона, представленная почти полностью погребенными экструзивными куполами или небольшими вулканическими конусами, протягивающимися от вулкана Чикурачки в запад-северо-западном

направлении. Большинство погребенных структур имеют размеры 0.5-3 км по основанию и 50-400 м по высоте.

Самый крупный лавовый конус расположен в северо-восточном окончании участка детальных исследований. Он почти целиком находится внутри осадочной толщи, имеющей здесь мощность более 1500 м. Лишь его привершинная часть возвышается над поверхностью дна, образуя холм высотой 100-120 м. Зафиксированная глубина над вершиной равна 580 м. Размеры этой структуры в ее нижней части на глубине 800-1000 м от поверхности дна достигают 5-6 км. Размер постройки по погребенному основанию – 7.5 км × 11 км, площадь ~ 65 км<sup>2</sup>, полная высота 1600 м. Крутизна склонов постройки составляет 5<sup>0</sup>-8<sup>0</sup>. С юго-юго-запада к ней примыкает более мелкий конус с размером основания ~ 3 км. Обе эти постройки являются магнитными и образуют аномалию, в пределах которой отмечены два экстремума интенсивностью 370 и 440 нТл. Постройки намагничены по направлению современного магнитного поля и возраст их образования не древнее 700 тыс. лет. Выполненное двухмерное моделирование показало, что эффективная намагниченность северного конуса составляет 1.56 А/м, а южного – 3.7 А/м. Исходя из средних значений эффективной намагниченности для подводных вулканов можно предположить, что северный конус сложен андезитами, а южный - андезибазальтами.

При проведении погружений подводных обитаемых аппаратов на северном конусе были опробованы плагиоклаз-рогообманковые андезиты и преобладающие однородные базальты.

Сопоставление результатов геомагнитного моделирования с данными геологического опробования позволяет предположить, что верхняя часть этого конуса сложена базальтами, а более глубокие части - андезитами. Оценки возраста северного конуса, приведенные в различных работах, изменяются в пределах неоген-четвертичного.

**Подводный вулкан (1.4)**, расположенный к западу от о. Парамушир находится на пересечении прогиба Атласова с продолжением поперечной структуры 4-го Курильского прогиба в 80 км к западу от о. Парамушир (рис. 1). Он расположен далеко в тылу Курильской островной дуги на удалении 280 км от оси Курило-Камчатского желоба, возвышаясь над окружающим дном Охотского моря на 650-700м. Основание его слегка вытянуто в северо-западном направлении и имеет размеры ~ 6.5 × 7 км. Вершина горы осложнена рядом пиков.

На удалении 3-10 км от вулкана по данным НСП выделены три небольших (по-видимому, магматических) тела, не достигших поверхности дна. Перекрывающие их осадки образуют купольные поднятия. Непосредственно к вулканической постройке приурочена положительная аномалия магнитного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> интенсивностью до 400-500 нТл. Вблизи привершинной части постройки отмечен локальный максимум интенсивностью до 700 нТл. Отмеченные магматические тела, не достигшие поверхности дна, в аномальном магнитном поле не выражены самостоятельными аномалиями. Интерпретация данных ГМС показала, что привершинная часть постройки является менее магнитной. Исходя из полученных данных, можно предположить, что последние по времени излияния лав происходили на СЗ склоне, где расположен активный вулканический центр. При драгировании привершинной части горы были подняты, в основном, амфиболовые андезиты, с подчиненным количеством пироксеновых андезибазальтов и плагиобазальтов. Скорее всего, вся постройка сложена вулканическими породами, а приблизительный возраст ее образования, по данным НСП и ГМС, составляет 0.4 - 0.7 млн. лет.

**Подводный вулкан Белянкина** расположен в 23 км к северо-западу от о. Маканруши (рис. 1). Он имеет форму изометричного конуса и поднимается над окружающим дном на высоту около 1100 м. Острая вершина вулкана расположена на глубине 508 м. Максимальный размер основания вулканической постройки 9 × 7 км при площади около 50 км<sup>2</sup>. Крутизна склонов вулкана увеличивается в направлении от основания к вершине от 15°-20° до 25°-30°. Склоны вулкана лишены осадочного чехла. Основание вулкана с налеганием перекрыто мощной толщей осадков. Объем вулканической постройки, с учетом перекрытой осадками части, ~ 35 км<sup>3</sup>. Мощность осадочных отложений вблизи вулкана превышает 1000 м. При имеющихся оценках скорости осадконакопления в Охотском море для образования этой толщи потребовалось бы от 1 до 10 млн. лет.

При драгировании были подняты однородные оливиновые базальты. Измерение магнитных свойств драгированных образцов показало, что их остаточная намагниченность изменяется в пределах 10-29 А/м, а отношение Кенигсбергера - в пределах 5.5-16.

К вулкану приурочена аномалия магнитного поля с размахом в 650 нТл, экстремум которой смещен к юго-востоку от вершины. Вулканическая постройка имеет прямую намагниченность. Из результатов 2.5-мерного магнитного моделирования следует, что аномальное

магнитное поле в районе вулкана обусловлено, в основном, его постройкой. Роль глубинных корней вулкана весьма незначительна. Породы, слагающие вулканическую постройку, довольно однородны по составу, что хорошо согласуется с данными геологического опробования. Моделирование, выполненное по двум другим независимым методикам, дало аналогичные результаты. Сопоставляя результаты моделирования с данными НСП и эхолотного промера, и учитывая свежесть драгированного материала, можно предположить, что, скорее всего, осадочная толща была прорвана при образовании вулканической постройки. Основание вулкана, по-видимому, начало формироваться в плиоцене, а основная часть постройки сформировалась в плейстоцене.

**Подводный вулкан Смирнова** расположен в 12 км к северо-северо-западу от о.Маканруши (рис. 1). Его основание на глубине порядка 1800 м сливается с основанием острова Маканруши. С севера подножие вулкана перекрыто обычными для этого района Охотского моря осадочными отложениями мощностью не менее 1000 м. По имеющимся оценкам скорости осадконакопления в Охотском море, для образования этой толщи потребовалось бы не менее 5 млн. лет.

Плоская вершина вулкана расположена на глубине 950 м и перекрыта горизонтально-слоистыми осадками мощностью 100-150 м. Максимальный размер основания вулкана  $8 \times 11$  км, при площади  $\sim 70$  км<sup>2</sup>, а плоской вершины –  $2 \times 3$  км. Относительная высота вулканической постройки 850 м, а объем - около 20 км<sup>3</sup>. При драгировании вулкана Смирнова были подняты разнообразные породы, изменяющиеся по своему составу от базальтов до дацитов. Андезибазальты имеют остаточную намагниченность 1.5-4.1 А/м и отношение Кенигсбергера 1.5-6.9, а андезиты – 3.1-5.6 А/м и 28-33 соответственно.

Подводный вулкан Смирнова отчетливо проявляется в магнитном поле, и к нему приурочена аномалия магнитного поля с амплитудой 470 нТл. Вулканическая постройка имеет прямую намагниченность. Из результатов 2.5-мерного магнитного моделирования следует, что аномальное магнитное поле в районе вулкана обусловлено его постройкой, а не глубинными корнями. Несмотря на разнородность драгированного материала, подавляющая часть постройки довольно-таки однородна по составу слагающих ее пород, имеющих прямую намагниченность. Исходя из величины эффективной намагниченности, такими породами могут быть высококальциевые амфиболсодержащие андезиты, типичные для тыловой зоны Курило-Камчатской островной дуги.

Плоская вершина вулкана свидетельствует о том, что когда-то он поднимался до уровня моря, а затем испытывал значительное опускание. Обширные подводные террасы о. Маканруши находятся на глубинах порядка 120-130 м. Это практически соответствует уровню моря в позднем плейстоцене, т.е. с позднего плейстоцена значительных опусканий в этом районе не происходило. Поэтому можно считать, что опускание плоской вершины вулкана Смирнова до глубины 950 м произошло до начала позднего плейстоцена. Возраст его, по крайней мере, плиоценовый.

**Подводный вулканический массив Эдельштейна** находится на расстоянии  $\sim 22$  км к северу от о. Чиринкотан и располагается на краю Курильской глубоководной котловины. Он образован, по-видимому, двумя слившимися близкорасположенными вулканическими постройками. Две его постройки, северо-восточная и юго-западная, поднимаются, соответственно, до глубин 620 и 840 метров. Северо-восточная постройка по своим размерам значительно превышает юго-западную. Расстояние между постройками около 5 км, седловина между ними находится на глубине около 1300 м. Общая высота вулкана, с учетом его погребенной части, порядка 2600 м, а диаметр его основания – около 14.8 км. Размер основания вулканического массива  $25$  км  $\times$   $19$  км, объем - около 315 км<sup>3</sup>. Склоны вулканических построек очень крутые, более  $20^\circ$ -  $30^\circ$ .

При драгировании северо-восточной постройки подводного массива Эдельштейна подняты амфибол-плагиоклазовые андезиты, андезибазальты и андезидациты. При опробовании юго-западной постройки подводного вулканического массива подняты оливин-клинопироксен-плагиоклазовые базальты, редко - порфиновые плотные оливин-плагиоклазовые андезибазальты андезиты и, в подчиненном количестве, андезидациты. На некоторых обломках встречены железомарганцевые корки и обильные выделения мелкокристаллических сульфидов. Драгированные породы сильно различаются по своим физическим свойствам. Плотность пород колеблется в диапазоне  $2.24 - 2.40$  г/см<sup>3</sup>, а остаточная намагниченность изменяется от 0.6 до 50 А/м.

Вулканический массив Эдельштейна отражается в магнитном поле локальной аномалией северо-восточного простираения. Интенсивность аномалий, приуроченных к юго-западной и северо-восточной постройкам, достигает максимальных значений, соответственно, 1060 нТл и 745 нТл. Максимальный градиент магнитного поля, равный 350 нТл/км, приурочен к привершинной части северо-западного склона северо-восточной вулканической постройки. Из результатов 2.5-мерного магнитного моделирования следует, что аномальное магнитное поле подводного вулканического массива Эдельштейна обусловлено, в основном, его постройкой. Роль «глубинных корней» вулканов весьма незначительна. Породы, слагающие вулканическую постройку, намагничены по направлению современного магнитного поля и довольно однородны по составу, что хорошо согласуется с данными геологического опробования. Эффективная намагниченность соответствует породам андезибазальтового ряда.

Вероятнее всего, подводный вулканический массив Эдельштейна имеет длительную историю формирования. Он начал формироваться в плиоцене, а его привершинная часть сформировалась в последние 700 тыс. лет

**Подводный вулкан 3.18**, расположенный на расстоянии 6.5 км к северо-западу о. Райкоке (рис. 1), находится на пересечении двух тектонических линий: субмеридиональной, проходящей параллельно прогибу пролива Крузенштерна, и линии, имеющей азимут 115°.

Относительная высота вулкана ~ 900 м, а размер основания по изобате 1200 м – 7.5 x 6 км. Плоская привершинная часть, расположенная на глубинах 220-250 м, имеет два пика. Отмеченная минимальная глубина равна 216 м. На глубине ~ 800 м вулкан сливается основанием с островом-вулканом Райкоке. Крутизна склонов вулкана изменяется от 16.7° до 24°, увеличиваясь от подножия к вершине. Объем вулканической постройки ~ 150 км<sup>3</sup>. В верхней части вулкан имеет довольно правильную конусовидную форму.

Судя по данным НСП, конус вулкана существенно лавовый. Плоская вершина вулкана, вероятнее всего, сформировалась во время позднеплейстоценового понижения уровня моря, т.е. возраст вулкана доголоценовый. В то же время практически полное отсутствие осадочных отложений у его подножия свидетельствует об относительно молодом возрасте вулкана. Возможно, он сформировался во время последнего оледенения или незадолго до него.

При драгировании с привершинной части вулкана были подняты свежие и измененные двупироксеновые и амфибол-двупироксеновые андезибазальты, пироксен-амфиболовые андезиты, туфы, туфогравелиты и туфобрекчии. Размах магнитной аномалии, соответствующей подводному вулкану, равен 600 нТл. Вулкан намагничен по направлению современного магнитного поля.

Правильная конусовидная форма вулканической постройки, однородный состав довольно свежих вулканических пород, намагниченность постройки по направлению современного магнитного поля и незначительная мощность осадков, перекрывающих подножие вулкана, свидетельствуют о его молодом (четвертичном?) возрасте.

**Подводный хребет Броутона** занимает крайнее северо-западное положение в пределах Броутонской поперечной вулканической зоны и располагается в 110 км от вулканического фронта, в 54 км к северо-западу от о. Броутона (рис. 1). Хребет вытянут в северо-западном направлении и включает в себя 3 довольно крупные подводные горы, слившиеся по основанию. С учетом погребенного основания хребта, высота гор составляет 2100, 1800 и 1400 м. Объемы построек могут быть оценены, соответственно, величинами 61, 66 и 26 км<sup>3</sup>. Протяженность хребта с юго-востока на северо-запад около 23 км, суммарный объем – порядка 153 км<sup>3</sup>.

Судя по характеру сейсмоакустического изображения на профилях НСП, рыхлые осадочные отложения на склонах хребта отсутствуют. Мощность осадочных отложений вблизи основания хребта не менее 0.8-1.0 км. При драгировании хребта Броутона подняты базальты, андезибазальты, дациты, туфы, граниты, гранодиориты, диориты, железомарганцевые корки.

Судя по имеющимся данным, хребет Броутона представляет собою, скорее всего, древнюю вулканическую постройку. Возраст его, возможно, несколько миллионов лет.

**Вулканический массив Черных Братьев** располагается на пересечении Большой Курильской Гряды и Броутонской поперечной вулканической зоны (рис. 1). Размеры массива по основанию – 33 км × 36 км. Острова Черные Братья являются довольно сложными вулканическими сооружениями. Здесь насчитывается 13 вулканических построек, три из них – действующие. Состав пород, слагающих вулканические постройки на островах, меняется от базальтов до андезитов. В пределах массива выявлены две подводные кальдеры: кальдера Горшкова и Внешняя кальдера Горшкова.

Вулканический массив Черных Братьев, прошел длительную и сложную историю развития. В его эволюции можно выделить пять этапов: древний докальдерный, древний кальдерный, межкальдерный, молодой кальдерный и современный посткальдерный.

Объем древней докальдерной постройки массива Черных Братьев, по-видимому, превышал 500-550 км<sup>3</sup>. При образовании древней кальдеры объем извержений магмы мог превышать 160 км<sup>3</sup>, что соответствует 300-400 км<sup>3</sup> пирокластического материала. Объем межкальдерной вулканической постройки, мог составлять 90-100 км<sup>3</sup>. При образовании молодой кальдеры было выброшено не менее 65 км<sup>3</sup> магмы, что эквивалентно 130-180 км<sup>3</sup> пирокластического материала. Объем современных построек островов Черные Братья – порядка 25 км<sup>3</sup>. Таким образом, суммарный объем изверженного в данном районе вулканического материала может превышать 1000-1300 км<sup>3</sup>, из них кислые пирокластические продукты кальдерообразующих извержений – 400-600 км<sup>3</sup>. Весь выброшенный материал в настоящее время слагает собственно массив Черных Братьев и составляет основную массу осадочно-оползневых отложений у подножия массива.

В пределах вулканического массива Черных Братьев в водной толще отмечены многочисленные акустические аномалии, которые, вероятнее всего, связаны с подводной газогидротермальной активностью.

**Подводный хребет Гидрографов**, простирающийся в западно-северо-западном направлении, располагается в 55- 60 км к северу от п-ова Чирип (о. Итуруп) (рис. 1).

Хребет поднимается со дна Курильской котловины с глубин 3000-3300 м и состоит из пяти подводных гор. Горы имеют общее основание на глубинах ~ 2200 м. Крутизна склонов хребта изменяется от 10-20° у подножия до 25-30° в привершинной части.

Судя по характеру сейсмоакустического изображения, рыхлые осадочные отложения на склонах хребта отсутствуют. Подножие хребта перекрывается с налеганием мощной толщей (до 800 – 1100 м) горизонтально-слоистых осадочных отложений Курильской глубоководной котловины. По данным ГМС к подводным горам хребта Гидрографов приурочены слабоинтенсивные (60 – 130 нТл) положительные аномалии магнитного поля, выделяющиеся на фоне отрицательного поля интенсивностью от –100 до -200 нТл.

Состав поднятого каменного материала отличается значительной пестротой. В драгированном материале преобладают палеотипные породы.

Большая мощность перекрывающих основание хребта осадочных отложений, преобладание в составе драгированного материала палеотипных пород, большое количество среди этого материала экзотических пород свидетельствуют о значительном возрасте хребта, возможно, не менее 4-5 млн. лет.

Возможно, то на каком-то этапе развития вершины хребта могли находиться вблизи уровня моря, а затем хребет испытал значительное погружение, по крайней мере, на 1300-1400 м. Размеры хребта по погребенному основанию – 42 x 22 км, высота, с учетом погребенной части ~ 2500 - 2600 м, суммарный объем ~ 660 км<sup>3</sup>.

**Подводный вулкан Крылатка** располагается на расстоянии ~ 17 км к север-северо-западу от мыса Пржевальского на о. Итуруп и в 56 км от вулканического фронта Курильской островной дуги (рис. 1). Он представляет собой конусовидную постройку субмеридионального простираения, с плоской вершиной на глубине 300 м. Размер плоской вершины – 4.3 x 6.5 км. Северные и западные склоны вулкана опускаются до глубин 2200-2300 м. От о. Итуруп постройка отделена глубинами около 900 м. Крутизна склонов увеличивается от 15° в нижней части до 20-25° градусов у вершины. Угол наклона плоской вершины равен 1.5°-2°.

Основание постройки с севера и запада покрыто осадочными отложениями мощностью до 700 м, залегающими субгоризонтально. Это свидетельствует о её относительной древности. Размер перекрытого основания – 14x22 км. Полная высота вулкана, с учётом перекрытого осадками основания, ~ 2900 м, а объём постройки ~ 140 км<sup>3</sup>.

Основание вулкана оконтуривают отрицательные изолинии аномального магнитного поля интенсивностью 100-130 нТл. К западу, юго-западу и югу привершинной части постройки приурочена положительная локальная аномалия, достигающая 96 нТл, а к востоку привершинной части и восточному склону – локальные положительные аномалии интенсивностью 230 и 150 нТл.

Из результатов 2.5-мерного магнитного моделирования следует, что аномальное магнитное поле подводного вулкана Крылатка обусловлено его современным рельефом. Вероятно, породы, слагающие центральную часть вулканической постройки в интервале глубин 180-700 м, подверглись значительным гидротермальным изменениям и, в результате чего, утратили свои магнитные свойства. Возможно, что этот слабо намагниченный блок представляет собой

вершинную кальдеру, заполненную продуктами разрушения верхней части постройки и консолидированным галечником.

В составе драгированных пород присутствуют базальты, андезибазальты, андезиты, андезидациты и риолиты. Андезидациты часто имеют экструзивный облик.

На записях эхолотных промеров в центре плоской вершины подводного вулкана Крылатка в интервале глубин 210-250 м отмечены акустические аномалии в водной толще, которые, вполне вероятно, могут быть вызваны газогидротермальной деятельностью.

Подводный вулкан Крылатка имеет довольно древний, по крайней мере, доголоценовый возраст. Формирование вулкана происходило, вероятнее всего, вблизи уровня моря. Во время позднеплейстоценового понижения уровня моря вершина вулкана была срезана абразией. В голоцене вулкан испытал погружение на 40-70 метров, до современного положения. Последние излияния лавы, возможно, происходили в морских условиях.

**Кальдера Львиная Пасть** расположена на охотоморском берегу в юго-западной части о. Итуруп (рис. 1). Она имеет крутые внутренние и пологие внешние склоны. Кальдера находится в центре позднеплейстоценовой вулканической постройки с диаметром основания 12-13 км. Сама кальдера имеет размеры 7х9 км. Гребень кальдеры поднимается до высоты 400-500 м, а внутренние стенки круто обрываются до глубины около 550 м ниже уровня моря. Проход шириной ~ 5 км и глубиной менее 50 м соединяет кальдерную впадину с Охотским морем. В проливе находится скалистый остров – Камень - Лев высотой 168 м.

Внутренние стенки кальдеры сложены чередующимися потоками лав и пироклаستيку. Состав пород – базальты, андезибазальты, андезиты и дациты. В обрывах стенок кальдеры обнажаются многочисленные дайки мощностью от 0.5 до 5-6 м, имеющие падения, близкие к вертикальным. В северо-восточной стенке кальдеры у мыса Челюсть обнажаются две экструзии андезибазальтового состава. Подобной экструзией является и остров Камень-Лев.

При образовании кальдеры Львиная Пасть около 9400 лет назад отмечены крупные выбросы пемзового материала. Эти пемзы слагают перешеек Южный, соединяющий вулканический массив Рокко, кальдеру Львиная Пасть и вулкан Берутарубе. Максимальная мощность пемзовых отложений здесь достигает 100 м, общий объем извергнутого материала составляет более 20 км<sup>3</sup>, а общий объем резургентного материала – 5-10 км<sup>3</sup>.

На всех профилях внутри залива с разной степенью уверенности выделяются две системы разломов, ограничивающих кальдеру.

Аномальное магнитное поле кальдеры Львиная пасть характеризуется положительными значениями к северу и отрицательными к югу, что характерно для объектов, намагниченных по направлению современного магнитного поля. Максимальное значение поля превышает 700 нТл, а минимальные значения, отмеченные в СЗ и СВ частях залива, превышают, соответственно, 900 нТл и 1500 нТл. Интенсивная положительная аномалия магнитного поля северо-восточного простираения с амплитудой, превышающей 1500 нТл, отмечена в 2 км к ССЗ от о. Камень- Лев. Выявленная двойная система ограничивающих кальдеру разломов и результаты других исследований указывают на возможность двух этапов кальдерообразования - ~ 9400 лет назад и несколько ранее. С другой стороны эти же данные не исключают возможности образования кальдерной впадины в один этап в результате ступенчатого погружения ее дна. Суммарная амплитуда погружения дна кальдеры по этим разломам превышает 2100 м. Объем кальдерной впадины не менее 70 км<sup>3</sup>. Только незначительная часть выброшенного при образовании кальдеры материала выпала в море за пределами острова Итуруп. Остальная часть, по-видимому, отложилась внутри кальдерной впадины, а также на примыкающем к кальдере перешейке Южный и на подводном охотоморском склоне острова Итуруп.

Заметная посткальдерная вулканическая активность в пределах кальдеры отсутствовала. Здесь происходило интенсивное осадконакопление, за последние 9400 лет в замкнутой кальдерной впадине накопилось ~ 3 км<sup>3</sup> осадков. Средняя скорость осадконакопления составила 10-15 мм/год.

### **Заключение**

Созданный web-сайт явился первой обобщающей работой в глобальной сети Интернет, посвященной геофизическим исследованиям подводного вулканизма КОД. В нем отражены результаты многолетних работ, выполненных камчатскими вулканологами. Курильская островная дуга в настоящее время является единственной в Тихом океане, для большей части которой по единой методике наблюдений выполнена геофизическая съемка с подобной детальностью по

регулярной системе профилей. Сайт вызвал положительный резонанс в российских научных кругах и, безусловно, явился новой вехой в изучении подводного позднекайнозойского вулканизма Тихого океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 05-05-65102) и ДВО РАН (проект 06-III-A-08-326) и ведущих научных школ (проект РИ-112/001/497).

### Список литературы

1. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В. и др. Подводная газогидротермальная активность на Северо-Западном склоне о. Парамушир (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1984. № 6. С.66-81.
2. Бондаренко В.И. Строение вулканической бухты Кратерная (Курильские острова) по данным сейсмоакустических исследований // Вулканология и сейсмология. 1986. № 5. С. 96-101.
3. Бондаренко В.И. Новая подводная кальдера у о-ва Онекотан (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 3. С. 92-95.
4. Бондаренко В.И. Сейсмоакустические исследования кальдеры Львиная Пасть // Вулканология и сейсмология. 1991. № 4. С. 44-53.
5. Бондаренко В.И. Новые данные о строении о-вов Ушишир (Средние Курилы) // Мелководные газогидротермы и экосистема бух. Кратерной (вулкан Ушишир, Курильские острова). Книга 1. Функциональные характеристики. Часть 1. Владивосток, 1991. С. 5-12.
6. Бондаренко В.И., Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Подводный вулкан, расположенный к северо-западу от острова Райкоке. // Вулканизм и геодинамика. Материалы II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург, 2003. С. 847- 850.
7. Бондаренко В.И., Надежный А.М. Акустические неоднородности осадочного чехла в районе подводного газогидротермального выхода у о-ва Парамушир // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С.100-104.
8. Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Селиверстов Н.И., Шкира В.А. Подводный вулкан к западу от о-ва Парамушир // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С.13-18.
9. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 35-51.
10. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 80 - 88.
11. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Новые данные о морфологии подводных вулканических хребтов Гидрографов и Броутона (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004. № 4. С. 51-58.
12. Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Анализ магнитного поля трех позднекайнозойских подводных вулканов в северной части Курильской островной дуги. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 2. С. 73-83.
13. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Отв. Ред. Пушаровский Ю.М. М.: Наука, 1992. 528 с.
14. Рашидов В.А. Геомагнитные исследования подводных вулканов северной части Курильской островной дуги // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 300-315.
15. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводных вулканов Белянкина и Смирнова (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 107-114.
16. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Подводный вулканический массив Эдельштейна (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 3-13.
17. Рашидов В.А., Бондаренко В.И. Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 65-76.