

УДК 551.21+556

МОРФОЛОГИЯ БУХТЫ БРОУТОНА (о. СИМУШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)© 2012 Д.Н. Козлов¹, В.А. Рашидов², И.Г. Коротеев¹¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск; e-mail: kozlov@imgg.ru²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Представлены результаты эхолотной съемки бухты Броутона (о. Симушир, Курильские о-ва) выполненной в июле 2011 г., в ходе комплексной научно-исследовательской экспедиции ИМГиГ ДВО РАН. Съемка выполнена эхолотом «Lowrance LMS-527сDF iGPS» с селективной частотой излучателя 50/200 кГц и встроенным 12-канальным GPS-приемником. Отработано 57 погонных км профилей эхолотного промера. Построены батиметрическая схема и 3D-модель бухты Броутона. Максимальная глубина бухты составила 250 м., а общая глубина современной кальдеры – приблизительно 700 м. Подводные склоны бухты до глубин 200-220 м имеют уклон ~ 15-25°, далее под небольшим уклоном 5-10° идет обширное, почти ровное дно, достигающее глубин 240-250 м.

Ключевые слова: морфология, эхолотный промер, бухта Броутона, Уратман, Симушир.

ВВЕДЕНИЕ

Морфологическое изучение кратерных озер в настоящее время интенсивно развивается во многих регионах Мира (Aeschbach-Hertig et al., 2002; Beck et al., 2001; Brothers et al., 2009; Diaconu, Mailat, 2010; Huguen et al., 2009; Kazmierczak, Kempe, 2006; Kazmierczak et al., 2011; Legesse et al., 2004; Moernaut et al., 2010; Morgan et al., 2003; Rodriguez-Rodriguez et al., 2004; Takano et al., 2004; Tamura et al., 2005).

Российскими учеными детально изучена морфология двух кратерных озер п-ова Камчатки – Курильского (Бондаренко, 1990б) и Карымского (Ушаков, Фазлуллин, 1997). В пределах Курильской островной дуги (КОД) в рейсах НИС «Вулканолог» и НИС «Пегас» проведены комплексные исследования как частично, так и полностью затопленных кальдер Львиная Пасть на о. Итуруп (Бондаренко, 1991а; Ломтев, 2008; Ломтев, Гуринов, 2008; Подводный..., 1992), Горшкова и Внешней кальдеры Горшкова (Аносов и др., 1989; Бондаренко, Рашидов, 2003а, 2003б), кальдеры у о. Онекотан (Бондаренко, 1990а). С борта моторной лодки обследован кратер вулкана Ушишир (о-в Янкича) – бухта Кратерная (Бондаренко, 1986, 1991б; Бондаренко и др., 1989).

На сегодняшний день на 68 вулканических центрах КОД (Рыбин и др., 2010) можно насчитать 10 кратерных озер (почти 1% от общего количе-

ства озер (1099) на Курильских островах), из них 8 озер приурочены к активным вулканическим центрам, а на двух вулканах (Головнина и Кетой) имеется по два кратерных озера. Таким образом, на Курильских островах 11.8% вулканических центров вмещают кратерные озера. Для сравнения можно привести данные из работы (Pasternack, Varekamp, 1997), в которых говорится, что 12% из 714 голоценовых вулканов Мира имеют кратерные озера. Как видно из этого сравнения – соотношение количества вулканов и кратерных озер для КОД практически совпадает с мировым.

Начиная с 2005 г. сахалинские вулканологи изучают уникальные, труднодоступные кратерные озера Курильских островов с борта маломерных судов с помощью современной аппаратуры (Козлов, 2010; Козлов, Белоусов, 2007; Козлов, Жарков, 2009а, 2009б; Kozlov, Belousov, 2006). До настоящего времени были изучены 8 из 10 кратерных озер.

Настоящая работа продолжает эти исследования и посвящена изучению морфологии и морфометрических особенностей бухты Броутона, расположенной в кальдере вулкана Уратман на о. Симушир.

ВУЛКАН УРАТМАН

Бухта Броутона (рис. 1-2), названная в честь британского мореплавателя Уильяма Роберта

Броутона, является составной частью вулкана Уратман (массива Броутона), построенного по типу Сомма-Везувий и расположенного на северо-восточном окончании о. Симушир (Аносов и др., 1989; Горшков, 1967; Камчатка..., 1974).

Стратовулкан Уратман представляет собой крупную кальдеру (кальдеру Уратман (Броутона)) размером 7.5×7 км, с внутренним центральным конусом Уратман, расположенным в юго-восточной части кальдеры, и несколькими побочными образованиями – двумя шлаковыми конусами и куполом (Горшков, 1967), находящимися к северу от подножия центрального конуса (рис. 3).

Исторические сведения об извержении вулкана Уратман отсутствуют, на сегодняшний день он остается слабоизученным. Сомма вулкана Уратман сложена гиперстеновыми и двупироксеновыми андезитами и андезибазальтами (Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989). Центральный и побочные конусы сложены двупироксеновым андезитом, а побочный купол – амфибол-пироксеновыми андезитами и андезибазальтами (Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989). Средний химический и редкоэлементный состав лав вулкана Уратман для 7 базальтов, 14 андезибазальтов и 5 андезитов приведен в работе (Подводный..., 1992).

Состав пород кальдеры Уратман не известен. По личному сообщению А.В. Рыбина (2012) его лавы и рыхлый вулканогенный материал пред-

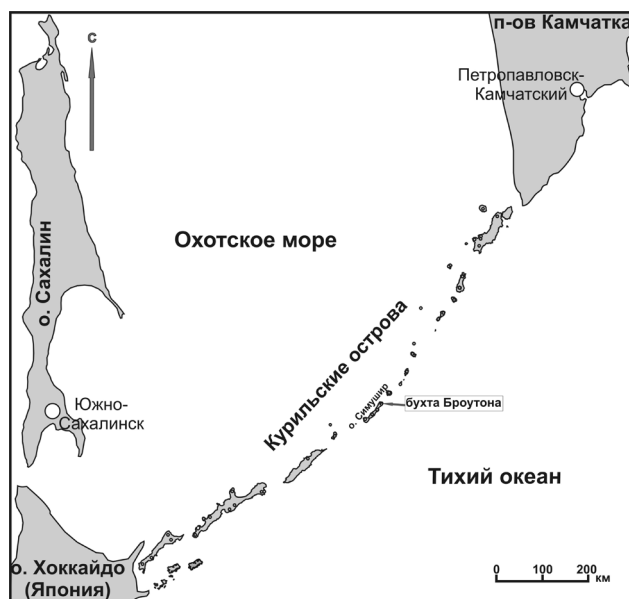


Рис. 1. Местоположение бухты Броутона.

ставлены всей гаммой пород от базальтов до риодацитов.

Абсолютная высота гребня кальдеры Уратман 250–450 м (Горшков, 1967). По подсчетам В.И. Мелекесцева площадь кальдеры по бровке составляет 45 км², а объем – от 30 до 50 км³ (Мелекесцев, 1988), согласно его сведениям, во время позднеплейстоценового кальдерообразующего извержения было выброшено ~60 км³ резургентного и ювенильного материала общим весом ~90·10³ т (Новейший..., 2005). Центральный конус



Рис. 2. Бухта Броутона. В центре видна узкая протока между мысами Советский и Сторожевой. Фото В.Б. Гурьянова.

МОРФОЛОГИЯ БУХТЫ БРОУТОНА

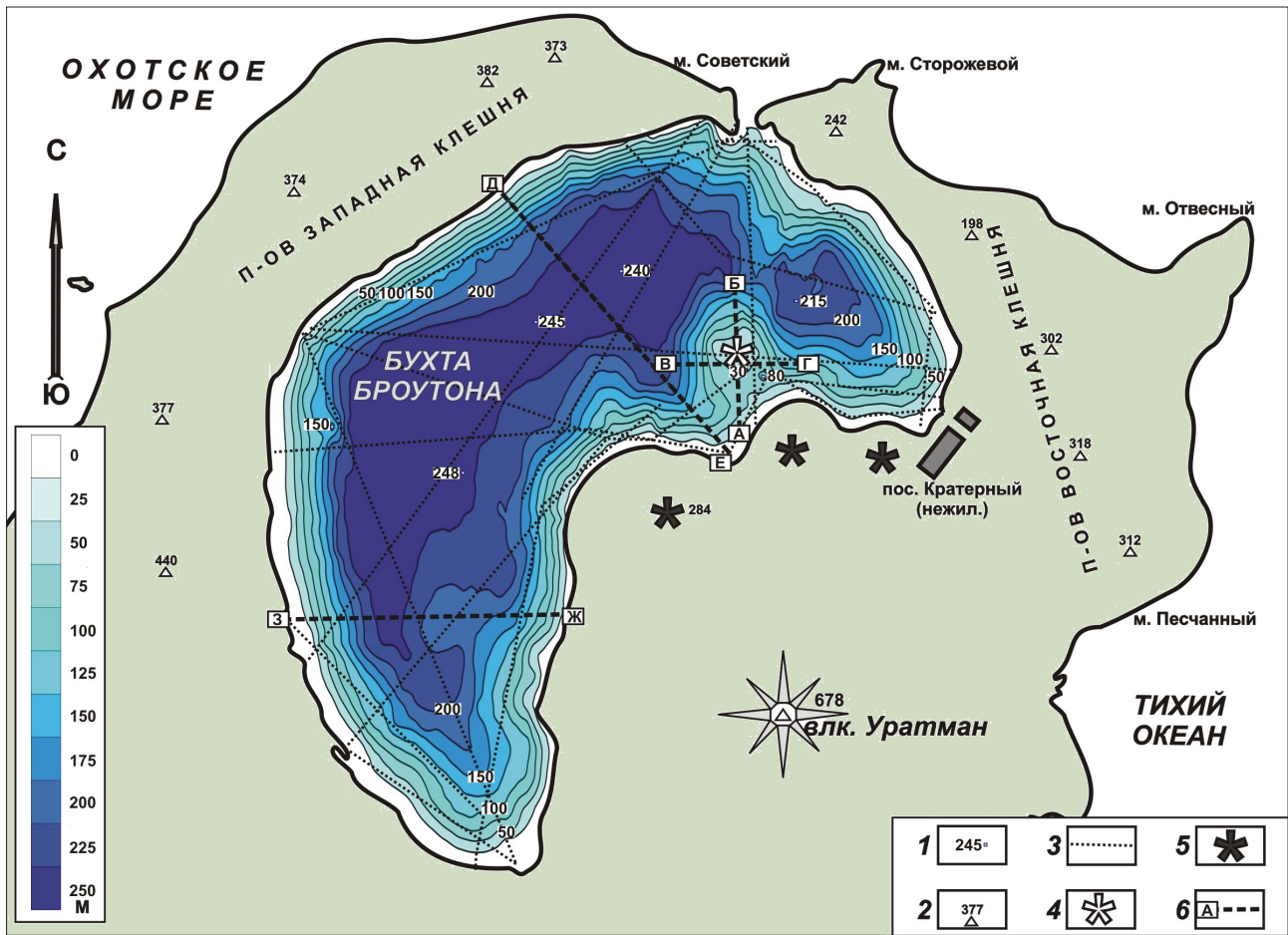


Рис. 3. Батиметрическая схема бухты Броутона: 1 – отметки глубин; 2 – отметки высот; 3 – галсы эхолотной съемки; 4 – подводный купол; 5 – побочные образования вулкана Уратман; 6 – профили эхолотных промеров, представленные на рис. 4.

Уратман образовался в голоцене и до настоящего времени хорошо сохранился (Горшков, 1967), его высота составляет 678 м.

В результате выполнения наземно-морских работ глубинного сейсмического зондирования под постройкой вулкана Уратман выявлено довольно мощное субвертикальное тело, которое может быть отождествлено с периферическим магматическим очагом и предполагаемым питающим каналом (Аносов и др., 1990).

ЭХОЛОТНАЯ СЪЕМКА БУХТЫ БРОУТОНА

Бухта Броутона заполняет северо-западную часть кальдеры Уратман и является самым большим по размерам водоемом на о. Симушир (рис. 1-3). Зеркало бухты простирается с северо-востока на юго-запад на 5.7 км и имеет форму полу-месяца и ширину с северо-запада на юго-восток около 2.4 км. На севере, между мысами Советский и Сторожевой, она соединяется с Охотским морем узкой протокой шириной 200-250 м. Фактически, бухта представляет собой крупный водоем, расположенный в обширной кальдерной депрессии, предположительно бывший озером,

который в самом ослабленном месте стенки кальдеры соединился с Охотским морем и был заполнен его водами. На восточном берегу бухты находятся остатки пос. Кратерный, который был основан в 1978 г. и ликвидирован в 1995-1997 гг.

В июле 2011 г. в ходе комплексной научно-исследовательской экспедиции ИМГиГ ДВО РАН на о. Симушир была выполнена эхолотная съемка бухты Броутона для составления ее цифровой батиметрической схемы и 3D-модели, а так же для поиска возможных подводных вулканических построек и газогидротермальных выходов на дне бухты.

В течение трех дней отработано 57 погонных км профилей эхолотного промера. Расположение профилей было выбрано таким образом, чтобы равномерно покрыть всю площадь бухты (рис. 3).

Съемка выполнялась с эхолотом «Lowrance LMS-527cDF iGPS» с селективной частотой излучателя 50/200 кГц и встроенным 12-канальным GPS-приемником. Эхолот был установлен на надувной резиновой лодке «Bombard Commando C5», оборудованной навесным мотором мощностью 40 л.с. Обработка материалов

проводилась по отработанной методике (Козлов, Жарков, 2009). Суть методики заключается в выборке данных о глубинах и их координатах в программе SonarViewer 2.1.2 с последующей обработкой и визуализацией в Surfer 10. Среднеквадратическая ошибка съемки составила 0.35 м по 30 пересечениям, что позволило построить батиметрическую схему с сечением изобат через 25 м.

В результате выполненных работ была составлена цифровая схема рельефа, доступная для работы в различных геоинформационных приложениях (рис. 3). Это позволяет использовать ее как для моделирования цунами, волновых процессов (Лоскутов и др., 2011) и опасных метеорологических явлений, так и для реконструкции истории развития стратовулкана Уратман. Установлено, что подводные склоны бухты имеют очень крутой уклон – около 15-25° до глубин 200-220 м, далее

идет обширное субгоризонтальное дно, достигающее глубин 240-250 м (рис. 3, 4).

Подобный рельеф наблюдается вдоль всей береговой линии, кроме самой южной и восточной оконечностей бухты, а так же участка вблизи подводного купола, обнаруженного во время наших работ. За многовековой период денудации стенок кальдеры и эруптивной активности вулкана обломочный вулканогенный материал изменил дно до современного состояния. Места наиболее интенсивного накопления и перераспределения этого материала – южный и восточный края бухты, соответственно более пологи и мелководны. Эффект осадконакопления усиливают и небольшие ручьи, находящиеся в этих районах на берегах бухты.

Обнаруженная максимальная глубина на дне бухты составила 250 м, что хорошо согласуется с данными существующих промерных схем бухты

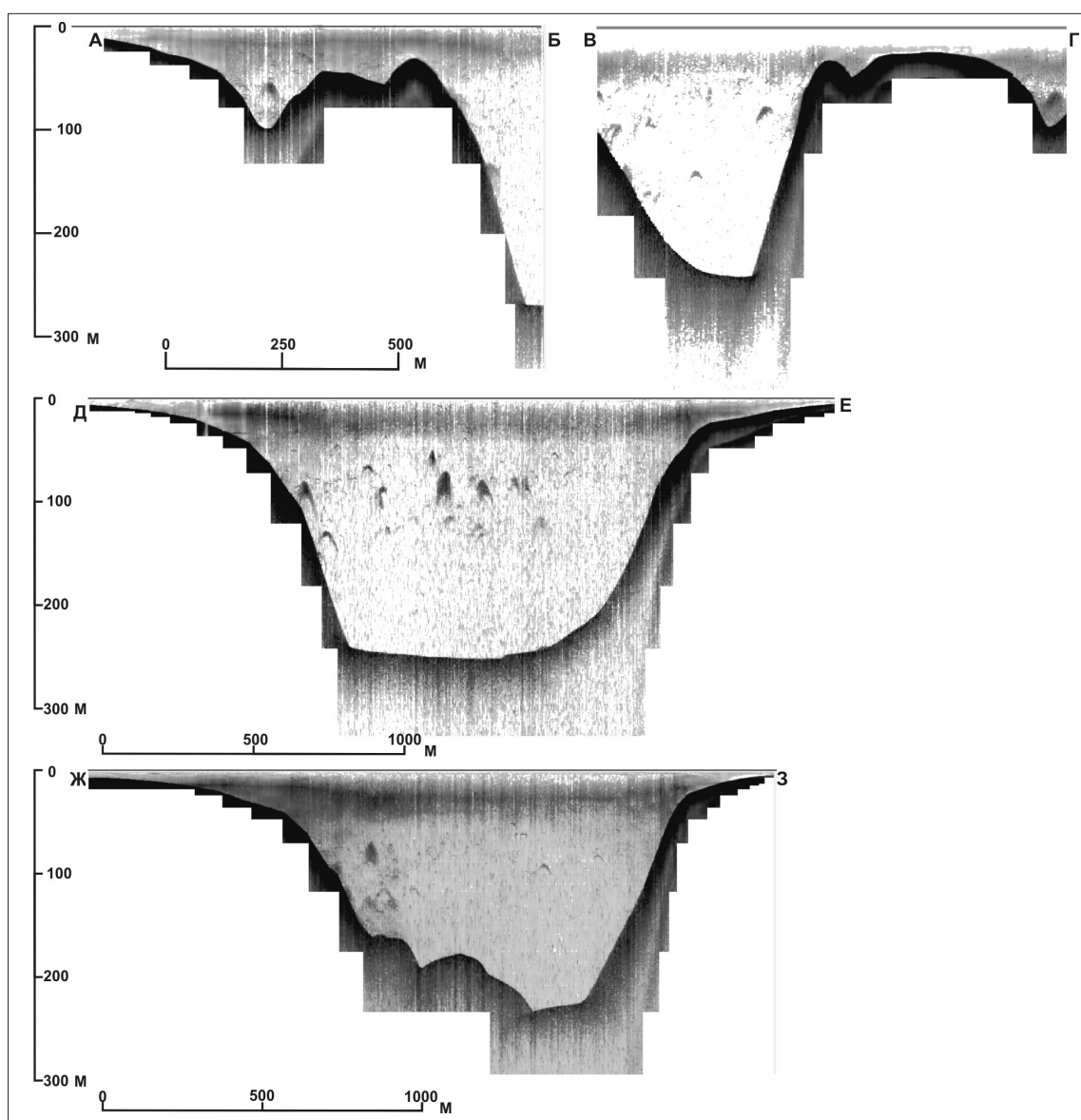


Рис. 4. Профили эхолотных промеров бухты Броутона. Положение профилей представлено на рис. 3.

Броутона. Наши данные согласуются с мнением Г.С. Горшкова (1967) о том, что глубина современной впадины кальдеры Броутона составляет ~ 700 м. Обнаруженный в восточной части бухты купол имеет размер ~ 0.8×0.8 км по изобате 175 м. Относительная высота купола ~ 200 м, а его вершина находится на глубине 30 м. Вполне вероятно, что этот купол, как и наземный побочный купол, находящийся к северу от подножия центрального конуса вулкана Уратман, сложен андезитами.

Признаков подводной газогидротермальной активности в пределах бухты Броутона во время проведения наших исследований не обнаружено. 3D-модель бухты Броутона, построенная по полученным данным, представлена на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований построены современная цифровая батиметрическая схема (рис. 3) и 3D-модель бухты Броутона (рис. 5).

Установлено, что подводные склоны бухты до глубин 200-220 м. имеют уклон ~ 15-25°, далее идет обширное субгоризонтальное дно, достигающее

глубин 240-250 м. Максимальная глубина, зафиксированная на дне бухты, составляет 250 м.

В восточной части бухты был обнаружен и тщательно промерен подводный вулканический купол (рис. 3, 4) с относительной высотой ~ 200 м и основанием – 0.8×0.8 км.

Не вызывает сомнения необходимость проведения наземно-морских комплексных геолого-геофизических исследований кальдеры Броутона и, в первую очередь, непрерывного сейсмоакустического профилирования, для изучения ее эволюции и геологического строения, что позволит значительно повысить информативность и достоверность исследований.

Полученный материал уникален по своей точности и новизне и он может быть в дальнейшем использован для проведения междисциплинарных научных исследований.

Морфологические исследования с борта надувных резиновых лодок подводных кальдер и кратерных озер, широко развитых на Курильских островах, представляются весьма перспективными.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (12-05-31502-мол-а и 12-05-00156-а).

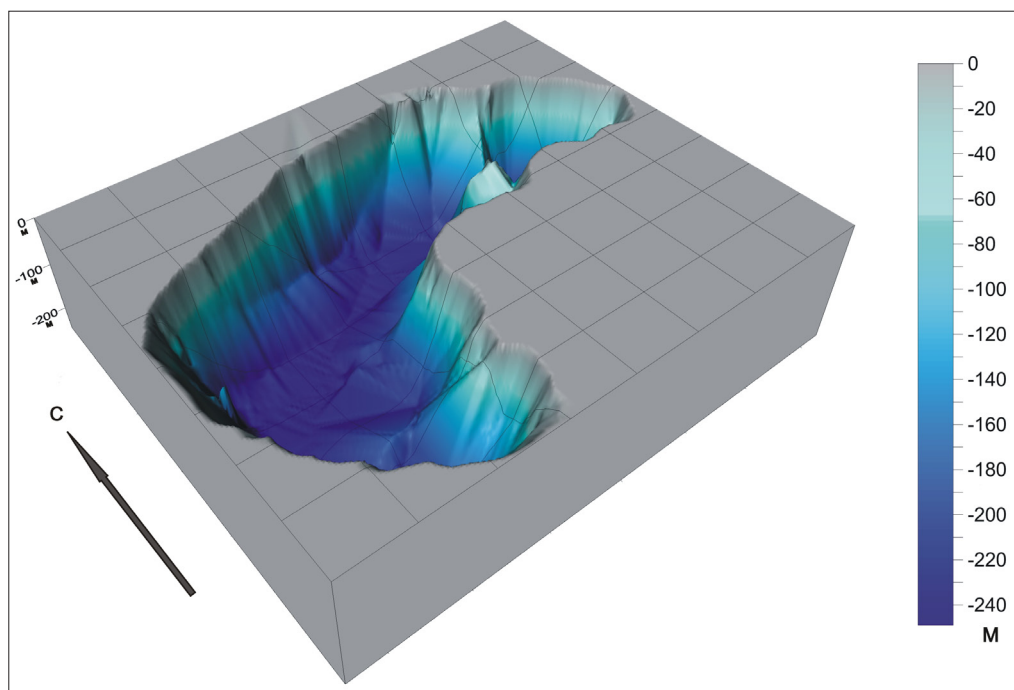


Рис. 5. 3D-модель бухты Броутона в перспективе юго-запад – северо-восток.

Список литературы

Аносов Г.И., Аргентов В.В., Абдурахманов А.И. и др. Глубинное строение вулкана Уратман (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 85-91.
Аносов Г.И., Аргентов В.В., Абдурахманов А.И. и др. Глубинное строение кальдеры Горшкова

(Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 5. С. 28-34.
Бондаренко В.И. Строение вулканической бухты Кратерная (Курильские острова) по данным сейсмоакустических исследований // Вулканология и сейсмология. 1986. № 5. С. 96-101.
Бондаренко В.И. Новая подводная кальдера

- у о-ва Онекотан (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1990а. № 3. С. 92-95.
- Бондаренко В.И.* Сейсмоакустические исследования оз. Курильского // Вулканология и сейсмология. 1990б. № 4. С. 92-111.
- Бондаренко В.И.* Сейсмоакустические исследования кальдеры Львиная Пасть // Вулканология и сейсмология. 1991а. № 4. С. 44-53.
- 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, 1991б. С. 5-12.
- Бондаренко В.И., Гавриленко Г.М., Сазонов А.П.* Морские вулканологические исследования бухты Кратерной // Биология моря, 1989. № 3. С.19-28.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003а. № 3. С. 35-51.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003б. № 2. С. 80-88.
- Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
- Камчатка, Курильские и Командорские острова / Отв. ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. 528 с.
- Козлов Д.Н.* Новые данные о внутрикальдерном озере Черное (о. Онекотан) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии. Всерос. науч. конф. Сборник докладов. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2010. С. 163-166.
- Козлов Д.Н., Белоусов А.Б.* Современные методы исследований внутрикальдерных озер активных вулканов (на примере вулкана Головнина, о. Кунашир, Курильские о-ва) // Материалы XIII научного совещания географов Сибири и дальнего востока, Иркутск, 2007 г. Т. 1. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. С. 142-144.
- Козлов Д.Н., Жарков Р.В.* Результаты исследования внутрикальдерного озера Бирюзовое на вулкане Заварицкого (о. Симушир, Курильские острова) // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: III Сахалинская молодежная научная школа, Южно-Сахалинск, 3-6 июня 2008 г. Сборник материалов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009а. С. 57-62.
- Козлов Д.Н., Жарков Р.В.* Новые данные по морфологии внутрикальдерных озер островов Кунашир и Симушир // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2009б. № 2. Вып. 14. С. 159-164.
- Ломтев В.Л.* Экструзии юга Охотской окраины Курильской дуги близ кальдеры Львиная Пасть (о-в Итуруп) // Геология и разведка. 2008. № 4. С. 72-75.
- Ломтев В.Л., Гуринов М.Г.* Экструзии (плюмы) Охотской окраины Курильской дуги близ кальдеры Львиная Пасть (о-в Итуруп) // Литосфера, 2008. № 1. С. 124-132.
- Лоскутов А.В.* Исследование цунами по записям глубоководных датчиков DART // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе. Научная конференция, посвященная 65-летию Института морской геологии и геофизики ДВО РАН 26-30 сент. 2011 г., г. Южно-Сахалинск, Россия. Тез. докл. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. С. 111.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д.* Катастрофические эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатской области в конце плейстоцена-начале голоцена // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 1. С. 175-181.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. Москва: Наука, 2005. 604 с.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. академик Ю.А. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Рыбин А.В., Чибисова М.В., Коротеев И.Г.* Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 64-72.
- Ушаков С.В., Фазлуллин С.М.* Морфометрические исследования Карымского озера // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С.132-141.
- Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.* Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 237 с.
- Aeschbach-Hertig W., Hofer M., Schmid M. et al.* The physical structure and dynamics of a deep, meromictic crater lake (Lac Pavin, France) // Hydrobiologia 2002.V. 487. P. 111-136.
- Beck Chr., P. Van Rensbergen, De Batist M. et al.* The Late Quaternary sedimentary infill of Lake Annecy (northwestern Alps): an overview from two seismic-reflection surveys // Journal of Paleolimnology. 2001. V. 25: P.149-161.
- Brothers D.S., Kent G.M., Driscoll N.W. et al.* New Constraints on Deformation, Slip Rate, and Timing of the Most Recent Earthquake on the West Tahoe-Dollar Point Fault, Lake Tahoe Basin, California // Bulletin of the Seismological Society of America. 2009. V. 99. № 2A. P. 499-519.
- Diaconu D.C., Mailat E.* Complex study of the lacustrine ecosystems of Mohoş Swamp // Lakes, reservoirs and ponds. 2010. V. 4(1). P. 70-78.

- Huguen C., Foucher J.P., Mascle J. et al.* Menes caldera, a highly active site of brine seepage in the Eastern Mediterranean sea: «In situ» observations from the NAUTINIL expedition (2003) // *Marine Geology*. 2009. V. 261. P. 138-152.
- Kazmierczak J., Kempe S.* Genuine modern analogues of Precambrian stromatolites from caldera lakes of Niuafo'ou Island, Tonga // *Naturwissenschaften*. 2006. V. 93. P. 119-126.
- Kazmierczak J., Kempe S., Kremer B. et al.* Hydrochemistry and microbialites of the alkaline crater lake Alchichica, Mexico // *Facies*. 2011. V. 57. P. 543-570.
- Kozlov D.N., Belousov A.B.* Hydrothermal eruption – the most probable scenario of volcanic disaster in the Golovnina Caldera, Kunashir Island, Southern Kuriles // 5th Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5) and International Volcanological Field School for Graduate Students. Linkages among tectonics, magma genesis, and eruption in the northern Pacific arc. Hokkaido University International Congress Hall, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 9-14, 2006. P. 140-141.
- Legesse D., Vallet-Coulomb Chr., Gasse F.* Analysis of the hydrological response of a tropical terminal lake, Lake Abiyata (Main Ethiopian Rift Valley) to changes in climate and human activities // *Hydrological processes*. 2004. V. 18. P. 487-2004.
- Moernaut J., Verschuren D., Charlet F. et al.* The seismic-stratigraphic record of lake-level fluctuations in Lake Challa: Hydrological stability and change in equatorial East Africa over the last 140 kyr // *Earth and Planetary Science Letters*. 2010. V. 290. P. 214-223.
- Morgan L.A., Shanks P., Lovalvo D et al.* The Floor of Yellowstone Lake is Anything but Quiet! New Discoveries in Lake Mapping // *Yellowstone Science* 2003. V. 11. № 2. P. 15-30.
- Rodriguez-Rodriguez M., Moreno-Ostos E., De Vicente I. et al.* Thermal structure and energy budget in a small high mountain lake: La Caldera, Sierra Nevada, Spain // *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2004. V. 38. P. 879-894.
- Pasternack G.B., Varekamp J.C.* Volcanic lake systematics I. Physical constraints // *Bull. Volcanol.* 1997. V. 58. P. 528-538.
- Takano B., Suzuki K., Sugimori K. et al.* Bathymetric and geochemical investigation of Kawah Ijen Crater Lake, East Java, Indonesia // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2004. V. 135. P. 299-329.
- Tamura Y., Tani K., Ishizuka O. et al.* Are Arc Basalts Dry, Wet, or Both Evidence from the Sumisu Caldera Volcano, Izu-Bonin Arc, Japan // *Journal of Petrology*. 2005. V. 46. № 9. P. 1769-1803.

MORPHOLOGY OF BROUTON BAY (SIMUSHIR ISLAND, THE KURILE ISLANDS)

D.N. Kozlov¹, V.A. Rashidov², I.G. Koroteev¹

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky*

The paper presents the results of Brouton Bay (Simushir Island, the Kurile Islands) echo-sounding investigations had been made in July 2011 during complex scientific and research expedition of FSBSO Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS by means of «Lowrance LMS-527cDF iGPS» echo sounder with oscillator frequency of 50/200 kHz and built-in 12-channel GPS receiver. We worked out 57 km of depth sounding profiles and constructed Brouton Bay bathymetric map and 3D-model. The bay maximum depth comprised 250 m and the caldera total depth comprised about 700 m. Submarine slopes of the bay have an angle ~ 15-25° to the depths of 200-220 m, then they have an angle of 5-10° to the vast nearly flat bottom at the depths of 240-250 m.

Keywords: morphology, depth sounding, Brouton Bay, Uratman, Simushir Island.