УДК 551.21+556 (571.645)

# МОРФОЛОГИЯ КРАТЕРНОГО ОЗЕРА КРАСИВОЕ (о. ИТУРУП, КУРИЛЬСКИЕ о-ва)

**© 2016 Д.Н. Козлов**

*Институт морской геологии и геофизики*
*Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН),*
*Южно-Сахалинск, 693022; e-mail: kozlovdn@bk.ru*

В работе рассматриваются оригинальные данные о современном состоянии, особенностях морфологии и морфометрических параметрах не изученного ранее вулканического кратерного озера Красивое. Приводятся батиметрическая схема и эхолокационные профили, полученные при помощи современной методики цифровой батиметрической съемки.

*Ключевые слова: кратерное озеро, вулкан, морфология, эхолокация.*

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день вулканические кратерные озера мира подробно изучены и описаны во множестве научных трудов (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; Pasternack, Varekamp, 1997; Rodriguez-Rodriguez et al., 2004; Takano et al., 2004; Tamura et al., 2005). Некоторые из этих работ дают исчерпывающую информацию по вопросам генетической или химической классификации озер, другие подробно рассматривают лимнологические проблемы и важные аспекты функционирования озерных экосистем. Изданием Springer выпущена высококлассная работа «Вулканические озера» (D. Rouwet et al., 2015), рассматривающая вопросы генетической и химической классификации кратерных озер, взаимосвязь геологических обстановок, вулканизма и поствулканических процессов с вулканическими водоемами.

Отечественными исследователями изучалась морфология нескольких вулканических кратерных озер п-ова Камчатка: Курильского (Бондаренко, 1990б) и Карымского (Ушаков, Фазлуллин, 1997). В конце 1980-х — начале 1990-х годов XX столетия проведены масштабные работы по исследованию гидротермальной системы кальдерного комплекса Ксудач (Пилипенко и др., 2001), во время этих работ была выполнена рекогносцировочная батиметрическая съемка озер Ключевое и Штюбеля.

В пределах Курильской островной дуги камчатскими и сахалинскими учеными в рейсах НИС «Вулканолог» и НИС «Пегас» проведены комплексные исследования как 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).

Начиная с 2005 г. сахалинские вулканологи изучают уникальные, труднодоступные вулканические кратерные озера Курильских островов при помощи современной высокоточной методики эхолокационной съемки с синхронной спутниковой привязкой профилей наблюдения (Козлов, Белоусов, 2007; Козлов, Жарков, 2009а, 2009б; Козлов, 2010; Козлов, и др. , 2012; Козлов, 2013; Козлов, 2015).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В июне–июле 2014 г. группа ученых-вулканологов Института морской геологии и геофизики ДВО РАН под руководством заведующего лабораторией вулканологии и вулканоопасности к.г.-м.н. А.В. Рыбина провела комплексные вулканологические исследования на о. Итуруп. Одним из объектов исследования являлась кальдера Урбич — центральная часть сложного вулканического массива Рокко. Относительный возраст кальдеры оценивается как межледниковый (Камчатка ..., 1974; Федорченко и др., 1989), диаметр по гребню составляет ~6 км, а по основанию — около 9 км. Согласно топографическим картам наивысшая точка кальдеры — гора Клинок с абсолютной высотой 745 м, однако другие издания (Апродов, 1982; Горшков, 1967) указывают наивысшую точку по гребню 622 м, а в «Геологии СССР» (1964) высота составляет уже 907 м. Вероятно, разница в оценке высот возникает по причине того, что за наивысшую точку принимаются разные отметки: г. Клинок (745 м), г. Голубка (910 м) и г. Малеева (672 м).

В котловине кальдеры расположено труднодоступное и до проведения наших работ не исследованное вулканологами и геоморфологами озеро Красивое (44°37' с.ш., 147°12' в.д.) (рис. 1, 2).

Насколько можно судить по имеющимся публикациям, исследования в районе озера Красивое проводились сотрудниками СахТИНРО, СахНИРО и камчатскими ихтиологами из КамчатНИРО, занимающимися динамикой численности лососей (Иванков, 1984; Бугаев, 1995; Бугаев, Кириченко, 2008). Ими отмечено, что местная популяция лососей остается наименее изученной среди других видов тихоокеанских лососей Сахалинской области, а следовательно и сам водоем не подвергался тщательному исследованию.

По генезису озеро Красивое относится к типу вулканических кратерных озер, по характеру водообмена озеро сточное — в его юго-восточной части в Тихий океан вытекает единственная протока соединяющая озеро с океаном — река Урумпет протяженностью около 3.5 км. Возраст озерной котловины предположительно позднеплейстоценовый (60–80 тыс.л.н.?). Относительная высота зеркала озера над уровнем моря составляет 82 м., площадь водосбора — 38.3 км$^2$.

Обследование и профилирование озера проводилось в течение двух дней с борта надувной гребной лодки при помощи эхолота Lowrance 527 CDF-iGPS на частоте излучателя 200 кГц с шагом промеров ~0.5 м. и синхронной спутниковой привязкой по профилю (Козлов, 2015) по апробированной методике (Козлов, 2013; Козлов, Белоусов, 2007; Козлов, Жарков, 2009а, 2009б). Было отработано 10 профилей общей протяженностью около 15 км. При обработке была проведена выборка значений координат и глубин, состоящая из 17.1 тыс. значений. На основе этих данных построена батиметрическая схема котловины (рис. 3).

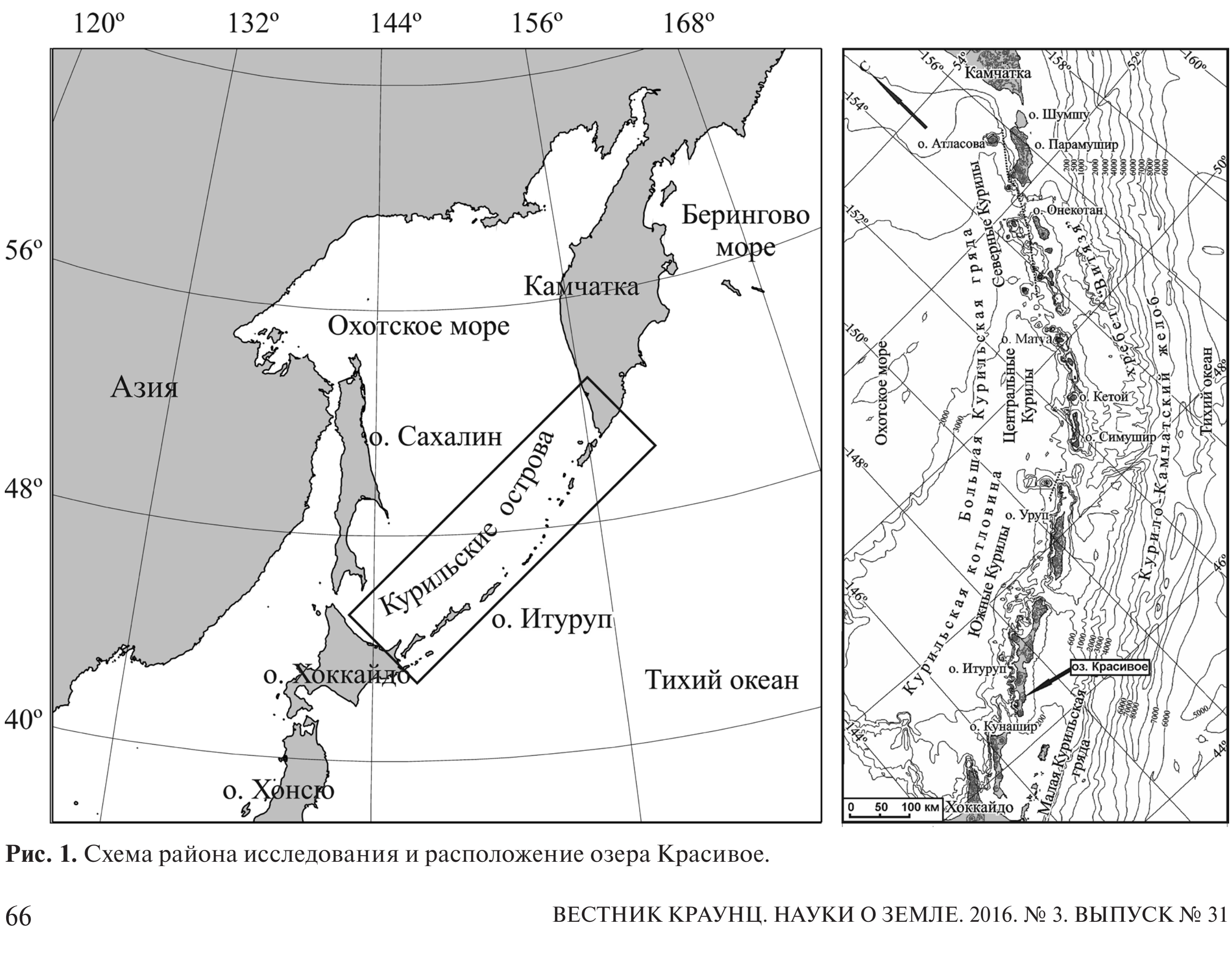


**Рис. 1.** Схема района исследования и расположение озера Красивое.

**Рис. 2.** Вид на озеро Красивое с южного берега, 2014 г. Фото автора.

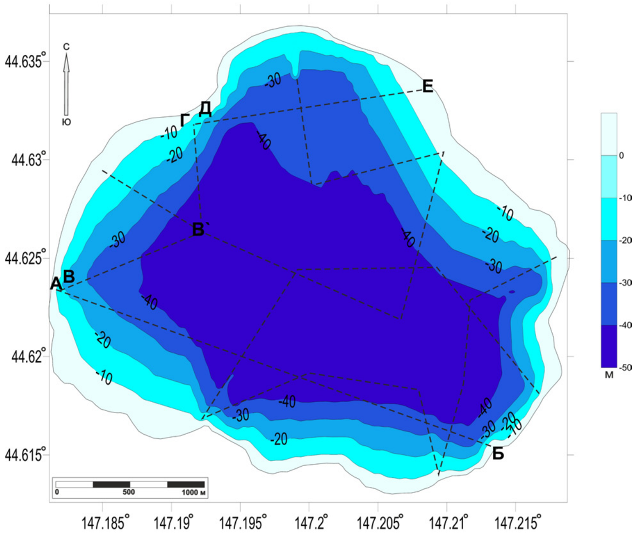


**Рис. 3.** Батиметрическая схема вулканического озера Красивое. Пунктиром обозначены галсы эхолотной съемки.

Морфометрические параметры озера Красивое.

| | |
|---|---|
| Площадь зеркала, км$^2$ | 5.8 |
| Длина береговой линии, км | 9.35 |
| Длина, км | 3 |
| Максимальная ширина, км | 2.45 |
| Средняя ширина, км | 1.93 |
| Максимальная глубина, м | 50 |
| Средняя глубина, м | 25.8 |
| Показатель площади | 0.15 |
| Удельный водосбор | 6.6 |
| Коэффициент извилистости береговой линии | 1.1 |
| Коэффициент емкости | 0.52 |
| Показатель открытости | 0.22 |
| Объем, км$^3$ | 0.15 |

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ преобразованных батиметрических данных и сведений из открытых геоинформационных ресурсов (Google: Планета Земля 7.1. и GeoMapApp 3.6.0) позволили описать морфологию котловины озера и вычислить его основные морфометрические параметры. Максимальная глубина озера составила 50 м, при этом средняя глубина равна 25.8 м, объем водной массы достигает 0.15 км$^3$, длина береговой линии — 9.35 км, а площадь зеркала 5.8 км$^2$. Подробные характеристики озера приводятся в таблице морфометрических параметров (таблица).

На основе картографического материала и данных батиметрической съемки установлено, что котловина озера имеет простую чашеобразную форму, без осложнения эксплозивными воронками или подводными куполами. При этом абразивная береговая линия имеет ярко выраженный береговой уступ высотой около 2–3 м. В пределах котловины можно выделить несколько бухт длинной 500–700 м. в южной части озера и относительно крупный залив длиной 1350 м в его северной оконечности.

Исходя из средней скорости осадконакопления в вулканических озерах Южных Курильских островов ~0.9 мм/год (Разжигаева, 2005), с учетом уплотнения осадков на глубине и ветрового заноса можно предположить, что мощность голоценового седиментационного чехла в озере может достигать 11 м (0.0009 м/год × 12000 лет = 10.8 м). Общая мощность донных отложений в озерной котловине может составлять 70–75 м (0.0009 м/год × 80000 лет = 72 м), а суммарная мощность с учетом отложений катастрофических эксплозивных извержений кальдеры Львинная Пасть ~13000 и ~12300 л.н. (Дегтерев и др., 2014; Дегтерев и др., 2016) — до 80–90 м.

В некоторых местах озера на эхолотных профилях (рис. 4) наблюдаются значительные неоднородности акустической проницаемости донных грунтов. Такая гидроакустическая аномалия может быть обусловлена, например,

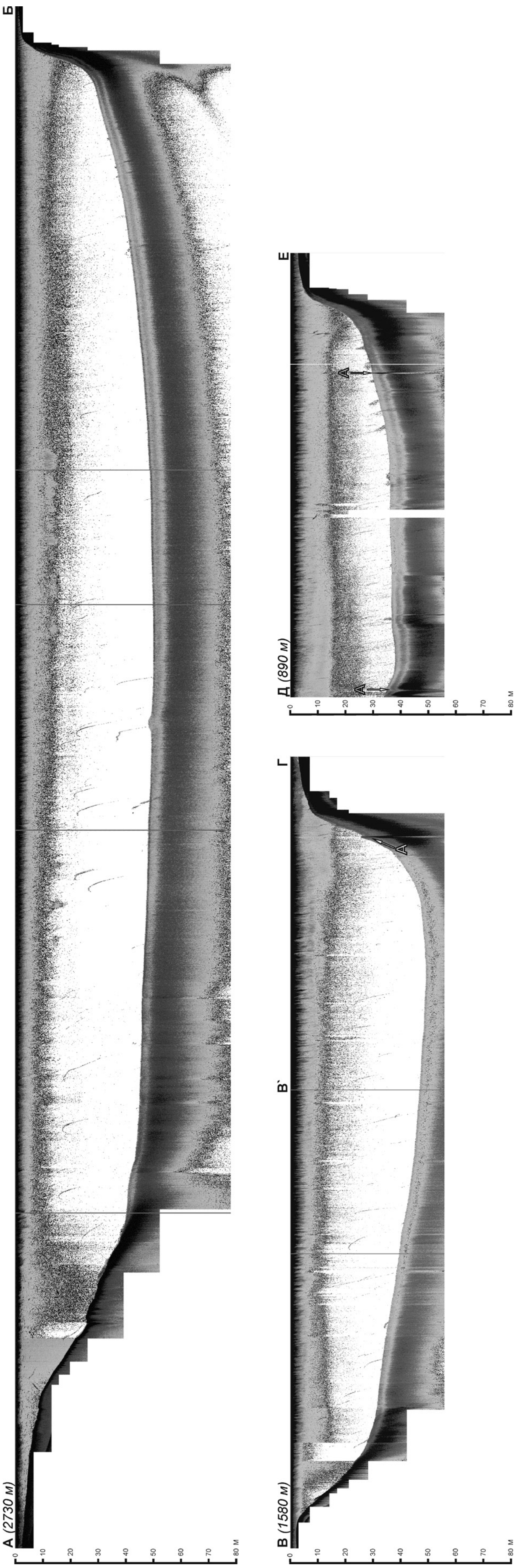


**Рис. 4.** Батиметрические профили через озеро Красивое: АБ, ВВ`Г, ДЕ — профили эхолотной съемки; А — гидроакустические аномалии. В скобках указана длина профиля в метрах.

наличием эффективных отражателей на дне — массивных обломков вулканических пород, уплотненных осадков либо даек. На профиле ВГ (рис. 4) отчетливо видны структурные нарушения, осложняющие рельеф сублиторали (разломы?).

Вероятно, что в настоящее время в пределах озера Красивое отсутствует газогидротермальная активность, так как на эхограммах (рис. 4) не выявлено наличия характерных газовых факелов, а озеро населяет самая многочисленная популяция нерки южных Курильских островов — (Иванков, 1984; Бугаев, Кириченко, 2008).

В результате проведенных работ на озере Красивое впервые получены достоверные сведения о специфике строения днища озерной котловины, ее форме и размерах, а так же о структуре верхней части седиментационной толщи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вулканическое кратерное озеро Красивое это уникальный водный объект, который можно охарактеризовать существенными сходствами с подобными изученными водоемами Курильских островов. Котловина чашеобразной формы, соотношение размеров и глубин, приуроченность к эруптивному центру и тщательно отнивелированные подводные склоны — признаки закономерного процесса заполнения атмосферными водами кратера потухшего вулкана и формирования в нем устойчивой во времени и пространстве озерной системы.

В перспективе для озера Красивое необходимо выполнить комплексное палеолимнологическое исследование, включающее изучение вертикальной колонки донных отложений, ее вещественного, минерального, гранулометрического и химического состава, что позволит уточнить сведения о характере природно-климатических условий на Курильских островах в позднем плейстоцене и голоцене.

## Список литературы

*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.

*Апродов В.А.* Вулканы / Москва: Мысль, 1982. 367 с.

*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. Ч. 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.

*Бугаев В.Ф.* Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос, 1995. 464 с.

*Бугаев В.Ф., Кириченко В.Е.* Нагульно-нерестовые озера азиатской нерки (включая некоторые другие водоемы ареала) // Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2008. 280 с.

Геология СССР, Том XXXI, Камчатка, Курильские и Командорские острова. Часть 1: Геологическое описание. М.: «Недра», 1964. 733 с.

*Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.

*Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Арсланов Х.А. и др.* Кальдерообразующее извержение Львиной Пасти (о. Итуруп, Курильские острова): стратиграфия и возраст // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле, г. Новосибирск, 17-21 ноября 2014 г. Новосбириск: ИГиМ СО РАН им. В.С. Соболева, 2014. С. 14–15.

*Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Арсланов Х.А. и др.* Эксплозивные извержения на о. Итуруп в голоцене: предварительные результаты тефрохронологических исследований // Мониторинг. Наука и Технологии. 2016, №1 (26). С. 7–11.

Камчатка, Курильские и Командорские острова / Отв. ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. 528 с.

*Иванков В.Н.* Проходная и жилая формы нерки Oncorhynchus nerka (Walb.) о. Итуруп (Курильские острова) // Биология проходных рыб Дальнего Востока: межвуз. сб. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1984. С. 65–73.

*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.* Особенности морфологии кратерных озер Курильских островов. Автореф. дисс. канд. геогр. наук: 25.00.25 / ФГБОУ ВПО «РГПУ им. А. И. Герцена». Санкт-Петербург, 2013. 24 с.

*Козлов Д.Н.* Исследование морфологии вулканических озер Курильской островной дуги: результаты и перспективы // Вестник Сахалинского музея.- Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 2015 № 22. С. 259–263.

*Козлов Д.Н.* Кратерные озера Курильских островов / Южно-Сахалинск: Государственное бюджетное учреждение культуры «Сахалинский областной краеведческий музей», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2015. 112 с.

*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.

*Козлов Д.Н., Рашидов В.А., Коротеев И.Г.* Морфология бухты Броутона (о. Симушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2012 № 2. Выпуск № 20. С. 71–77.

*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.

*Пилипенко Г.Ф., Разина А.А., Фазлуллин С.М.* Гидротермы кальдеры вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 43–57.

Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. академик Ю.А. Пущаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.

*Разжигаева Н.Г.* Эволюция четвертичных обстановок осадконакопления на островах Востока Азии. Дисс. докт. географ. наук. Санкт-Петербург, 2005. 312 с.

*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 lacustrian ecosystems of Mohos 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.

*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.

*Pasternack G.B., Varekamp J.C.* Volcanic lake systematics I. Physical constraints // Bulletin of volcanology, 1997, V. 58. P. 528–538.

*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.

*Rouwet D., Christenson B., Tassi F., Vandemeulebrouck J.* (eds). Volcanic Lakes. Advances in Volcanology, Springer, 2015. 533 p.

*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.

МОРФОЛОГИЯ КРАТЕРНОГО ОЗЕРА

# MORPHOLOGY OF CRATER LAKE KRASIVOYE (ITURUP ISLAND, THE KURILE ISLANDS)

**D.N. Kozlov**

*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia; e-mail: kozlovdn@bk.ru*

The paper presents the original data on the current state, morphology and morphometric features of volcanic crater in Krasivoye Lake, which has never been studied before, and provides the bathymetric scheme and echo sounding profiles obtained using the modern methods of digital bathymetric survey.

*Keywords: crater lake, volcano, morphology, echo sounding.*