

УДК 550.36:551.21

МОРФОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНОГО ОЗЕРА УТИНАЯ БАНЯ (о. Итуруп, Южные Курильские острова)

О.Р. Хубаева¹, А.В. Дегтерев^{2,1}, Д.Н. Козлов^{2,1}, А.Л. Хомчановский¹,
Р.В. Жарков², Ф.И. Батанов¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9, Россия

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия

На термальном проявлении (оз. Утиная Баня), на о. Итуруп (Курильские острова) проведен комплекс исследований, включающий: батиметрическую съемку озерной котловины, геометрическое нивелирование поперек озера, шурфование, отбор проб термальных вод озера и источников, проведены гидрохимические исследования, сделан изотопный анализ кислорода и водорода озерной воды. Форма озерной котловины близка к линзовидной с существенным концентрическим углублением, подводные газогидротермальные выходы, вал по периметру озерной котловины и наличие нескольких слоев обломочных отложений на вершине вала могут указывать на то, что озеро образовано гидротермальным извержением. Температура озера на протяжении многих лет остается постоянной и в среднем колеблется от 25 до 15 °С в зависимости от времени года. Вода оз. Утиная Баня представлена кислыми, сульфатными кальциевыми, пресными водами.

Гидротермальный взрыв, маар, разрывные нарушения, батиметрическая схема, гидрохимический анализ, Курильские острова

MORPHOLOGY AND SPECIFIC FEATURES OF FORMATION OF THERMAL LAKE UTINAYA BANYA (Iturup Island, Southern Kuril Islands)

O.R. Khubaeva, A.V. Degterev, D.N. Kozlov, A.L. Khomchanovskii, R.V. Zharkov, F.I. Batanov

This paper describes a set of studies performed at a thermal manifestation (Lake Utinaya Banyan) on the Iturup Island (Kuril Islands). These studies include bathymetric survey of the lake basin, geometric leveling across the lake, pitting, sampling of thermal waters from the lake and springs, hydrochemical research, and isotopic analysis of oxygen and hydrogen in the lake water. It is suggested by the shape of the lake basin (close to lenticular with a significant concentric depression), the underwater gas-hydrothermal vents, the bank along the perimeter of the lake basin, and the presence of several layers of clastic deposits at the top of the rampart that the lake was formed by a hydrothermal eruption. The lake temperature has remained constant over the years and ranges on average from 25 to 15 °C, depending on the season. The water of Lake Utinaya Banyan is represented by acidic, sulfate calcium, and low-mineralized waters.

Hydrothermal explosion, maar, faults, bathymetric scheme, hydrochemical analysis, Kuril Islands

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, гидротермальные системы могут использоваться не только в качестве альтернативных источников энергии, но также в интересах рудной геологии, так как нередко к ним приурочены эпитермальные месторождения золота [Hedenquist, Henley, 1985; Hedenquist, Houghton, 1987; Kokh et al., 2017]. В этой связи особый интерес исследователей во всем мире вызывают гидротермальные извержения, а также ассоциирующиеся с ними отложения и формы рельефа — маары, образующиеся в результате таких событий [White, 1955; Moyle et al., 1990; Browne, Lawless, 2001; и др.]. Подобные исследования не только помогают в разработках эпитермальных месторождений золота в активных геотермальных районах, оценке возможности бурения геотермальных скважин, но и используются в практике работ по вулканическому районированию, позволяют оценить опасность для инфраструктуры, расположенной в непосредственной близости от мест, где происходят такие события.

С середины XX в. было начато планомерное геолого-геофизическое исследование Курильской островной дуги, благодаря чему к настоящему времени термальные проявления Южных Курильских островов изучены достаточно подробно. Если на удаленных и труднодоступных островах центральной и северной частях Курильской дуги (Шиашкотан, Экарма, Расшуа и др.) периодически происходят «от-

крытия» новых, ранее не рассмотренных в литературе термальных проявлений, то на островах Итуруп и Кунашир подобные белые пятна встречаются гораздо реже. В научной литературе, посвященной Курильским островам, встречаются описания таких геологических объектов, как маары, связанные с эксплозивными извержениями [Горшков и др., 1964; Мархиин, 1983; Смирнов и др., 2016], но нет упоминаний о маарах, образованных в результате гидротермального взрыва [Hedenquist, Henley, 1985; Lorenz, 1985, 1986, 2003a, 2003b; Lorenz et al., 1998, 1999; Browne, Lawless, 2001; Lorenz, Kurszlauskis, 2007].

В 2022 г. исследователям стало известно о термальном оз. Утиная Баня [Дегтерев и др., 2022]. Водоем не замерзает в зимний период, имеет сильный запах серы, в некоторых его частях наблюдается интенсивное выделение газов. Местным жителям, по данным наших опросов, известно о водоеме с 1970-х гг., по их свидетельствам, визуально состояние оз. Утиная Баня за это время не изменилось. Примечательно, что, несмотря на относительную доступность озера для посещения и его уникальные характеристики (пресные кислоты (pH 3.5—3.95), воды озера имеют сульфатный кальциевый состав, характерный для термальных источников, разгружающихся в пределах активных вулканических построек), однако вплоть до последнего времени о нем не было известно специалистам.

Целью данной работы является восполнение имеющихся пробелов в изученности гидротермальных проявлений о. Итуруп и представление новых данных об уникальном термальном озере, расположенном в непосредственной близости к с. Рейдово.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Остров Итуруп — один из наиболее крупных островов Большой Курильской гряды, характеризующийся максимальным разнообразием вулканических и поствулканических проявлений. Тектоническому строению о. Итуруп посвящено много работ [Пискунов, 1975; Сергеев, 1976; Стрельцов, 1976; Фролова и др., 1989; Федорченко и др., 1989; Данченко, 1991; Государственная..., 2002]. По данным глубинного сейсмического зондирования, земная кора в этом районе имеет мозаичное строение [Горшков, 1967; Полец, Злобин, 2009], определяемое наличием серии продольных и поперечных разрывных нарушений. В формировании структурного плана района важную роль играли вулканотектонические депрессии и поднятия. Неогеновые вулканотектонические структуры в большинстве случаев ограничены кольцевыми и дугowymi нарушениями. Позднеплиоцен-четвертичные вулканотектонические структуры представлены кальдерами, одиночными стратовулканами, вулканами линейно-гнездового типа. Остров Итуруп относится к Большекурильской структурно-фациальной зоне, сложен вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами неогенового и четвертичного возраста [Горшков, 1967], которые прорываются многочисленными экструзивными, интрузивными, субвулканическими телами и дайками различного состава [Государственная..., 2002]. Тела магматических пород в исследуемом районе разделяются на тела излившихся и тела глубинных пород. Все они тесно связаны с палеовулканизмом средневерхнемиоценового возраста. В основном это штоки, дайки, некки, субвулканические интрузии лакколитообразной формы. Интрузии имеют андезитовый состав (Асаулов Г.М. и др., 1982 г.).

В среднем—позднем миоцене в исследуемом районе размещались четыре вулканических центра, находящихся в стадии активной деятельности. Три из них — районы оз. Лебединое, оз. Рейдовое и среднее течение руч. Минеральный (рис. 1) — по набору фаций относятся к стратовулканам. В верхнем течении р. Курильская (см. рис. 1) выделяется щитовой вулкан (Асаулов Г.М. и др., 1982 г.).

Морские отложения среднелеистоценового возраста, развитые в центральной части о. Итуруп, слагают аккумулятивный чехол 200—250-метровой террасы.

Исследованный район расположен в пределах вулканотектонической депрессии, ограниченной дугowymi разломами. Депрессия была сформирована в результате проседания кровли магматического очага (Асаулов Г.М. и др., 1982 г.).

Дуговые разломы, ограничивающие эту структуру, проходят через центры современного вулканизма (влк. Баранского, Тебенькова, Грозный), через Рейдовское термальное поле («Жаркие Воды»), верхнее течение руч. Минеральный, верховья рек Волчок и Курильская. В центре этой вулканотектонической структуры находится палеовулканический центр оз. Лебединое с вершинной кальдерой (Асаулов Г.М. и др., 1982 г.).

Гидротермальные проявления центральной части острова приурочены в основном к вулканическому хр. Грозный и вулканам Богдан Хмельницкий и Чирип. Хребет Грозный протягивается примерно на 45 км от перешейка Ветровой до Куйбышевского перешейка. Термальные воды хр. Грозный выходят в пределах вулканов Баранского, Тебенькова, Мачеха, Иван Грозный, а также на южной периферии в районе с. Горячие Ключи. К гидротермам центральной части острова также можно отнести скв. №13к в районе г. Курильск, источники вулканов Чирип и Богдан Хмельницкий на п-ове Чирип, Рейдовские термальные источники в районе с. Рейдово [Жарков, 2014].

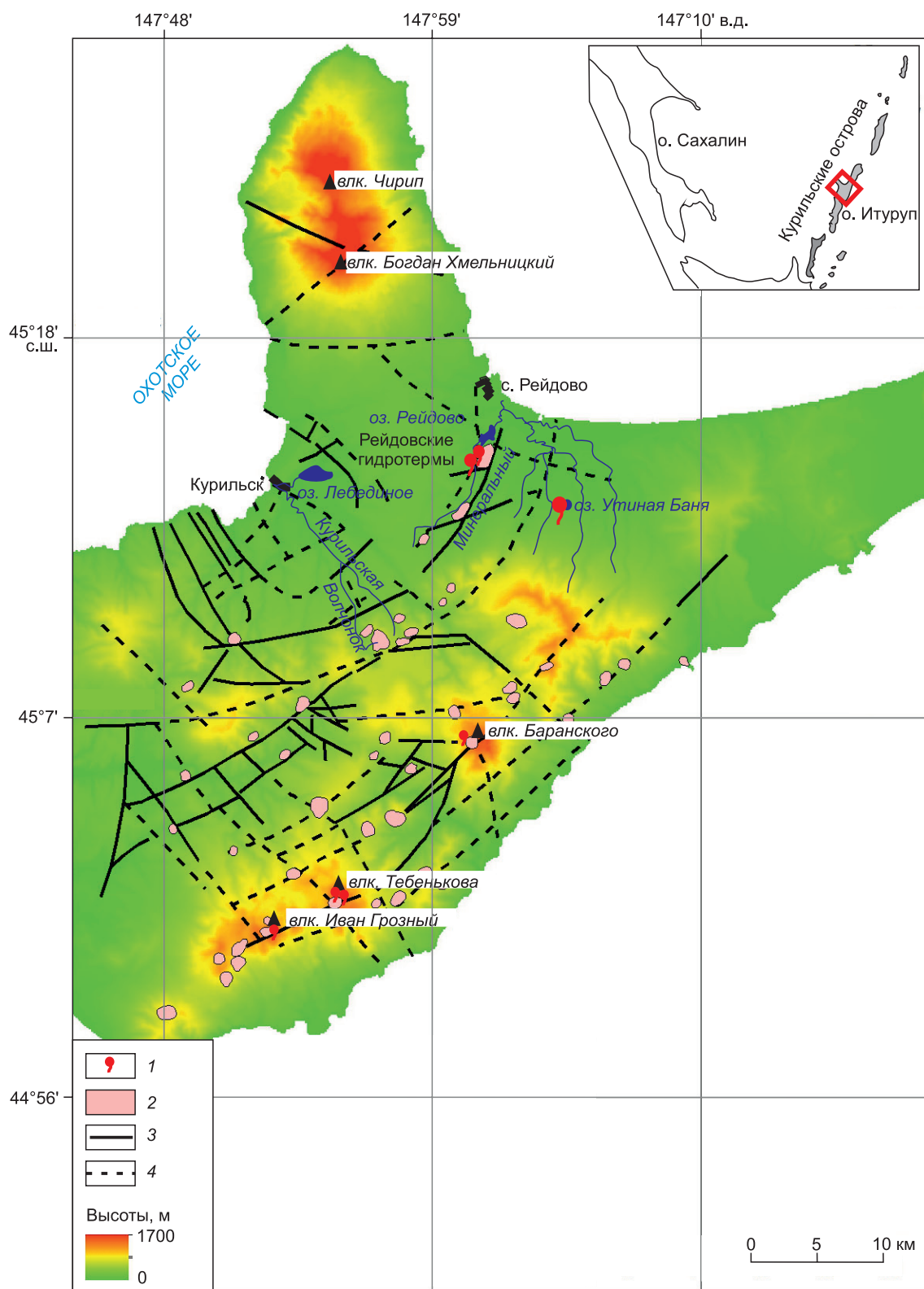


Рис. 1. Тектонические нарушения центральной части о. Итуруп (за основу взята тектоническая схема (Пчелкин В.И. и др., 1986 г.).

1 — термальные источники, 2 — интрузии субвулканической фации; 3, 4 — тектонические нарушения: 3 — проявленные на поверхности, 4 — скрытые под четвертичными образованиями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведения экспедиционных работ в феврале—октябре 2022 г. были проведены первые геолого-геоморфологические работы (батиметрическая съемка озерной котловины, геометрическое нивелирование поперек озера, шурфование, выполнен отбор проб термальных вод озера и источников, проведены гидрохимические исследования. Анализы химического состава воды выполнены по стандартным методикам в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский (аналитики: вед. инж. С.В. Сергеева, м.н.с. А.А. Кузьмина).

Изотопный анализ кислорода и водорода озерной воды ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) выполнен в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Исполнитель: к.г.-м.н. Т.А. Веливецкая, руководитель лаборатории стабильных изотопов. Подготовка проб воды для изотопного анализа проведена по стандартной методике высокотемпературного пиролиза воды на углероде. Для выполнения анализов было использовано следующее оборудование: высокотемпературный пиролизатор TC/EA (ThermoQuest, Bremen, Germany), соединенный с изотопным масс-спектрометром MAT 253 (ThermoQuest, Bremen, Germany) через интерфейс ConFlo-IV (ThermoQuest, Bremen, Germany). Пиролизатор TC/EA использован для получения CO и H_2 в результате реакции воды с углеродом при температуре 1450 °C в восстановительных условиях и последующего хроматографического разделения продуктов пиролиза. Ввод образцов воды (0.5 мкл) в реактор пиролизатора производился в автоматическом режиме с использованием автосемплера Combi PAL. Для калибровки аналитической системы в ходе выполнения анализов применяли изотопные стандарты, распространяемые Международным агентством по атомной энергии (Вена): VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) $\delta^{18}\text{O} = 0.0 \text{ ‰}$, $\delta\text{D} = 0.0 \text{ ‰}$; SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) $\delta^{18}\text{O} = -55.50 \text{ ‰}$; $\delta\text{D} = -427.5 \text{ ‰}$. Результаты анализов δD и $\delta^{18}\text{O}$ приведены относительно международного стандарта VSMOW. Воспроизводимость результатов при анализе данной серии образцов контролировали повторными измерениями лабораторного стандарта. Воспроизводимость результатов составила в среднем $\pm 0.1 \text{ ‰}$ для $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 0.8 \text{ ‰}$ для δD .

Батиметрическая съемка проводилась по апробированной методике [Козлов, 2015, 2016; Козлов и др., 2018] при помощи цифрового эхолота Lowrance LMS 527 CDF-iGPS (рабочая частота 200 кГц). Профили выполнялись со спутниковой привязкой и шагом съемки 0.25 м. Всего было сделано около 1.2 тыс. промеров. Обработка полученных данных выполнена с использованием программных пакетов Lowrance Sonar Viewer, Surfer и Microsoft Excel, расчет морфометрических параметров озера проведен по общепринятым методикам [Муравейский, 1960; Морфология, 2004]. Замеры температуры акватории озера велись при помощи цифрового измерительного преобразователя AZ8803 Dual K Thermometer (диапазон рабочих температур от -50 до $+1300$ °C, ± 0.1 °C) с датчиком температуры KTXA 01.02-002-к1-И-Т310-3 (диапазон рабочих температур от -40 до $+1000$ °C) и мобильного тепловизора Caterpillar Cat S61 (диапазон измеряемых температур до 400 °C). Съемка на оз. Утиная Баня велась на минимально допустимых глубинах, не превышающих 1.0—1.5 м. Вследствие этого сигнал от излучателя сильно переотражался, давал помехи и искажения, отмечены эффекты «двойного дна» и шумы.

Гипсометрический профиль строился при помощи ручного нивелира и рейки, проводились измерения относительных превышений высоты с шагом 1 м. В результате построены два профиля высот противоположных берегов озера с общей ориентацией с запада на восток.

Шурфование проводилось на вершине и у подножия вала, расположенного вокруг оз. Утиная Баня. Глубина шурфов составляла 1.2 и 1.0 м после прохождения этих пределов шурфы начинали заполняться водой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Утиная Баня расположено в 12 км к юго-востоку от с. Рейдово, в центральной части о. Итуруп (см. рис.1, 2). Местность в районе озера представляет собой всхолмленную равнину с абсолютными отметками не более 66 м. Водовмещающими породами, вероятно, служат эффузивно-туфогенные породы итурупской свиты [Мархинин, Стратула, 1977]. Озеро имеет изометричную форму, слегка вытянуто в восток-северо-восточном направлении. Цвет воды — бирюзовый, берега озера крутые, затянуты оплывинами с порослью бамбучника и кедрового стланика. Древесная растительность представлена лиственницей, березой, дубом, ольхой. В феврале



Рис. 2. Озеро Утиная Баня.

Химический состав вод оз. Утиная Баня и на берегу

Параметр	Озеро Утиная Баня (UBn-2-2/22)			Источник на южном берегу озера Утиная Баня (UB-3-1/22)		
$T, ^\circ\text{C}$	15.9			14.0		
pH	3.95			3.76		
Eh, мВ	97.4			—		
Компонент	мг/л	мг-экв./л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв./л	мг-экв. %
HCO_3^-	—	—	—	—	—	—
Cl^-	7.1	0.20	3.99	19.0	0.54	8.78
SO_4^{2-}	230.5	4.80	95.75	269.0	5.60	91.02
F^-	0.25	0.01	0.26	0.24	0.01	0.21
Сумма анионов	237.88	5.01	100.00	288.39	6.15	100.00
Li^+	< 0.1	0.00	0.00	< 0.1	0.00	0.00
H^+	0.12	0.12	2.19	0.186	0.18	3.37
Na^+	16.3	0.71	12.97	16.2	0.71	12.8
K^+	3.32	0.08	1.55	3.21	0.08	1.50
Ca^{2+}	82.3	4.11	75.07	81.5	4.06	74.19
Mg^{2+}	5.47	0.45	8.22	5.3	0.44	7.94
Fe^{3+}	< 0.1	0.00	0.00	0.12	0.01	0.12
Fe^{2+}	< 0.1	0.00	0.00	< 0.1	0.00	0.00
NH_4^+	< 0.1	0.00	0.00	< 0.1	0.00	0.00
Сумма катионов	107.57	5.47	100.00	106.5	5.48	100.00
H_3BO_3	< 0.5	—	—	< 0.5	—	—
$\text{SiO}_2 \text{ р.}$	26.71	—	—	24.79	—	—
$\text{SiO}_2 \text{ к.}$	< 1.07	—	—	< 1.07	—	—
Минерализация	372.16	—	—	419.68	—	—

Примечание. $\text{SiO}_2 \text{ р.}$ — кремниевая кислота растворенная, $\text{SiO}_2 \text{ к.}$ — то же, коллоидная.

2022 г. температура озера составляла 15.9°C , pH — 3.5. На южном берегу озера в пяти метрах от берега расположены два источника, имеющие схожие с озерной водой физико-химические параметры (таблица, UB-3-1/22).

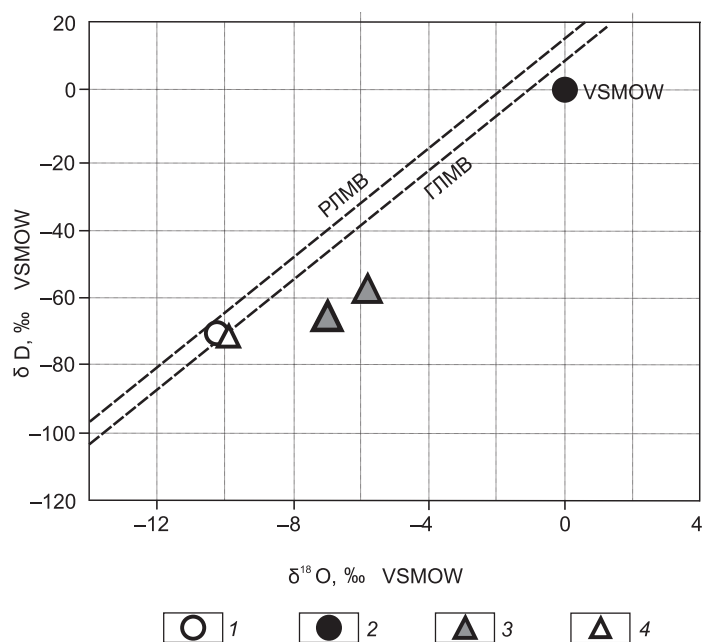
Воды озера и источников относятся к пресным (общая минерализация около 0.4 г/л), кислым (pH 3.95), сульфатным кальциевым (см. таблицу). Состав газов не изучался, так как отобрать пробы газов, свободно выделяющихся в небольших количествах со дна озера, не удалось. Судя по характерному запаху, в составе газов присутствует сероводород.

На острове Итуруп точных аналогов гидрогеохимического типа воды оз. Утиная Баня нет, но можно отметить схожесть с физико-химическими характеристиками некоторых кислых источников, расположенных в пределах построек активных вулканов: Старозаводского сольфатарного поля (влк. Баранского), Нагорных источников (влк. Тевенькова) и источника Лопастной (влк. Иван Грозный) [Мархинин, Стратула, 1977; Жарков, 2014]. Ближайшие к исследуемому озеру Рейдовские гидротермы (т. н. «Жаркие Воды»), расположенные в 5 км к запад-северо-западу от озера вблизи с. Рейдово, существенно отличаются по физико-химическим характеристикам. Воды Рейдовских термальных источников имеют температуру до 50°C (глубинные гидротермы скв. № 3 на выходе имеют температуру более 80°C) и pH 6.5—7.8, относятся к маломинерализованным (более 4 г/л), хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым термам. В газовом составе Рейдовских источников преобладает азот (59—67 %), содержание углекислого газа составляет 22—28 %, сероводород не обнаружен, но выявлено относительно высокое содержание метана (8—11 %).

Изотопный состав водорода ($\delta\text{D} = -70.2\text{‰}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O} = -10.3\text{‰}$) воды оз. Утиная Баня соответствует метеорным водам (рис. 3), что указывает на преобладание атмосферных вод в питании озера и их интенсивный водообмен в относительно короткий срок взаимодействия с вмещающими породами. Практически идентичный изотопный состав δD и $\delta^{18}\text{O}$ имеет термальный источник Пресный (долина р. Кипящая, влк. Баранского), а кислые термальные источники Молочный и Бирюзовый (Старозаводское поле, влк. Баранского), несмотря на схожесть их химического состава с водами оз. Утиная Баня, имеют сдвиг в сторону утяжеления. В отличие от низкотемпературного сточного озера, котлы термальных источников Молочный и Бирюзовый имеют замедленный водообмен и температуру до

Рис. 3. Соотношения изотопов водорода (δD) и кислорода ($\delta^{18}O$) в водах:

1 — термальное оз. Утиная Баня; 2 — VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water); 3 — термальные источники Молочный и Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле, влк. Баранского [Жарков, 2014]; 4 — термальный источник Пресный в долине р. Кипящая, влк. Баранского [Жарков, 2014]. ГЛМВ — глобальная линия метеорных вод [Craig, 1961]; РЛМВ — региональная линия метеорных вод [Чешко, 1994].



90 °С, здесь может быть высока роль процессов кинетического фракционирования при длительном испарении, что приводит к утяжелению кислорода и водорода. Л.Е. Михайлов [Мархинин, Стратула, 1977] считает, что Рейдовские термальные источники связаны с линией тектонического нарушения, вдоль которой возникли вулканы Баранского, Богдана Хмельницкого и Чирип [Мархинин, Стратула, 1977]. На рисунке 1 видно также, что Рейдовские гидротермы расположены непосредственно над выделенным здесь интрузивным телом, на пересечении разрывных нарушений северо-восточного и запад-северо-западного направлений (Пчелкин В.И. и др., 1986 г.), а оз. Утиная Баня тяготеет к разрывному нарушению СВ простирания.

По результатам эхолотной съемки нами получена серия из пяти батиметрических профилей оз. Утиная Баня суммарной протяженностью 0.32 км, небольшое количество профилей связано с тем, что в основном велась непрерывная съемка без разбития на отдельные галсы с целью максимального покрытия по площади зеркала озера за небольшой промежуток полевых работ в течение одного дня. После обработки профилей нами была составлена батиметрическая схема котловины (рис. 4, а) и рассчитаны основные морфометрические параметры озера. Некоторые из них рассматриваются подробнее как существенно характеризующие вулканогенные водоемы:

- площадь зеркала — 900 м² (наименьшая площадь из изученных вулканогенных озёр Курильских островов по состоянию на 2022 г.);
- максимальная глубина — 1.5 м (наименьшая глубина из изученных вулканогенных озёр Курильских островов по состоянию на 2022 г.);
- высота зеркала — 33 м н. ур. м. (наиболее низкое в Курило-Камчатском регионе);
- длина береговой линии — 115 м (существенно меньше этой величины для кратерных озёр региона (550—1980 м);

- длина зеркала — 40 м;
- наибольшая ширина — 30 м;
- коэффициент извилистости береговой линии — 1.09. Данный коэффициент — весьма показательная характеристика зеркала озера, рассчитываемая как отношение длины береговой линии к длине окружности круга, имеющего площадь, равную площади исследуемого водоема. В нашем случае он весьма близок к единице и находится в пределах диапазона 1.09—1.39, установленного для региона [Козлов, Лебедева, 2022]. Это характеризует форму зеркала как кратерное озеро, а его береговую линию как слабоизрезанную.

Объем воды в озере составляет 925 м³.

Удельный водосбор:

- средняя ширина — 22.5 м;
- средняя глубина — 1.027 м;
- коэффициент емкости — 0.684, рассчитанный как отношение средней и максимальной глубины озера, он существенно выше интервала кратерных озёр (0.25—0.47). Это говорит о том, что несмотря на воронкообразную форму котловины, озеро имеет небольшую относительно размеров глубину.

Необходимо отметить, что озерная котловина имеет следующие морфологические особенности: форма в плане близка к овальной, однако она не линзовидная, а напротив — весьма сложная в профиле (см. рис. 4) за счет того, что котловина осложнена V-образным углублением. В этом месте прослеживается акустическая брешь в виде «факела» от подводного газогидротермального выхода. Подобные, но менее интенсивные выходы отмечаются и на других участках озера. Глубины в озере распределены не-

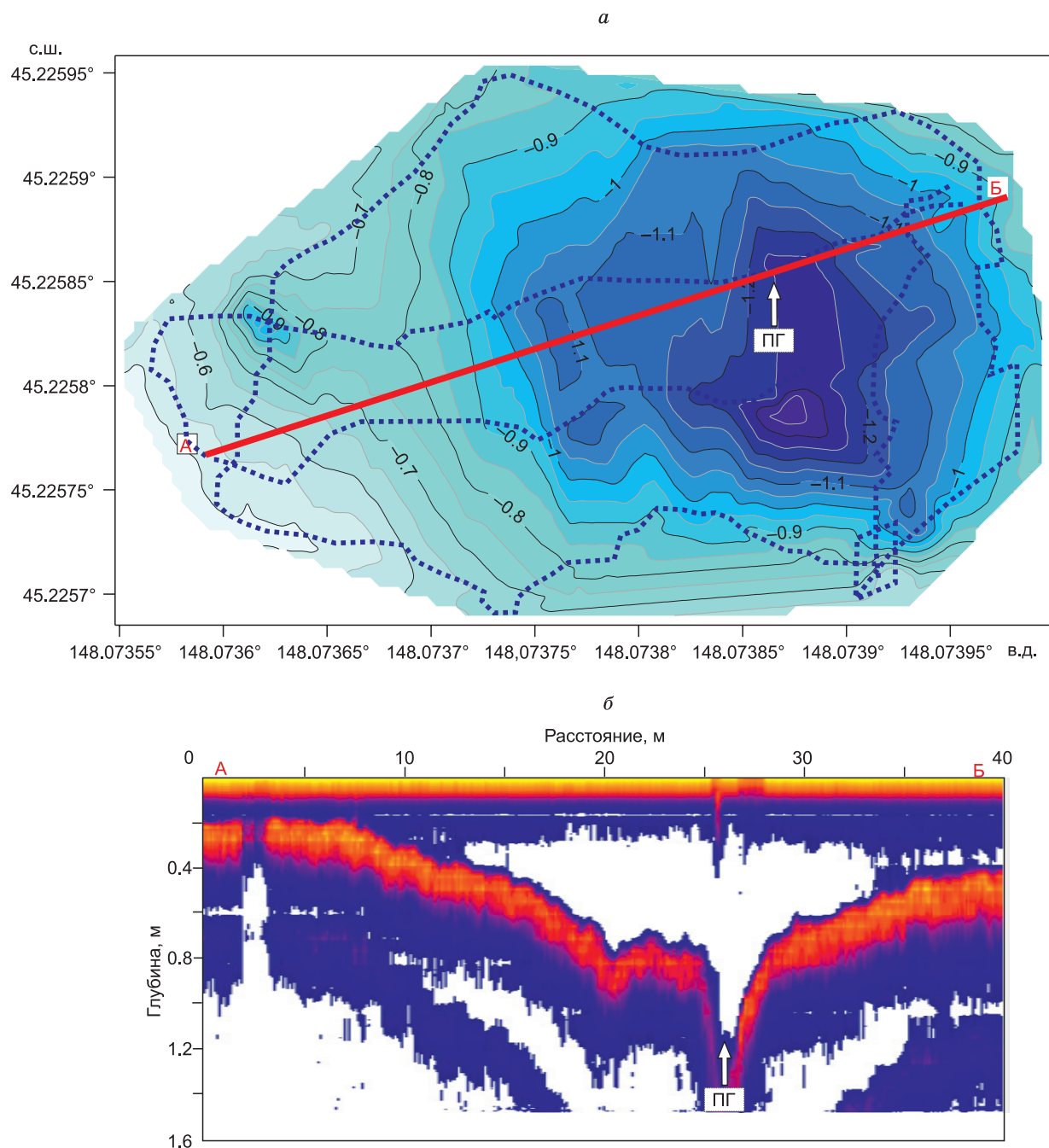


Рис. 4. Батиметрическая карта оз. Утиная Баня (а).

Пунктиром обозначены основные промерные галсы. Эхолотный профиль (А—Б) оз. Утиная Баня (б), максимальная глубина составляет 1.5 м, в этом же месте виден предположительно разлом и подводное газогидротермальное проявление (ПГ).

равномерно, условно строение его дна можно разделить на две наиболее выраженные части, имеющие форму, близкую к воронкам: наиболее крупная восточная, с глубиной до 1.5 м и занимающая около половины площади водоема; небольшая западная воронка диаметром около 5 м и глубиной до 1 м. При помощи геометрического нивелирования построены два профиля, фиксирующих наличие вала вокруг озерной котловины (рис. 5), являющихся характерным элементом рельефа мааров. Проведено шурфование на вершине вала и у его основания (см. рис. 5, а).

При проходке шурфа 1 (рис. 6, а) на глубине 45 см обнаруживается слой (551/2), представленный линзами с обломками лимонитизированной породы размером от 5 до 15 мм. Обломки породы сложены более мелкими, полностью замещенными лимонитом обломками пород (до 1 мм) со сглаженными кра-

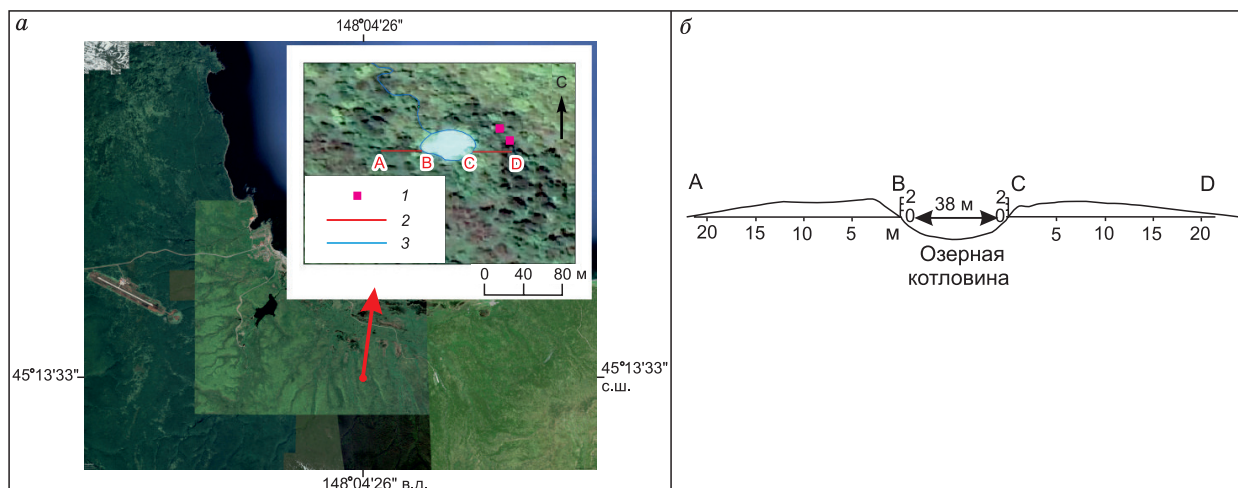


Рис. 5. Нивелирные профили на оз. Утиная Баня (а). Расположение нивелирных профилей, проведенных по линиям А—В, С—D и шурфов (б).

1 — шурф, 2 — нивелирные профили, 3 — ручей.

ями и мелкими кристаллами пород, часть из которых полностью замещена лимонитом, а часть имеет свежий вид. «Свежие» кристаллы представлены магнетитом, пироксенами и амфиболами. Размер кристаллов не превышает 0.5 мм. Кристаллы силикатных минералов (пироксены и амфиболы) по краям нередко корродированны. Мелкие обломки пород и кристаллы сцементированы лимонитовой массой. Ниже на глубинах от 66 до 82 см наблюдается несколько маломощных (2—5 см) слоев резургентного материала. В образцах присутствуют два типа обломков (кусочков) пород. Первый тип — обломки, полностью состоящие из плотного или рыхлого лимонита с колломорфно-зональной структурой. Второй тип — обломки, сложенные преимущественно лимонитизированными или «свежими» кристаллами (магнетит, пироксены, амфиболы) или лимонитизированными обломками пород. Все это сцементировано лимонитом. Кристаллы и обломки пород имеют алевропсаммитовую размерность. Мелкие обломки пород имеют сглаженные края. Кристаллы имеют гипидиоморфные очертания, некоторые кристаллы по краям корродированны. Форма обломков и зерен минералов, вероятнее всего, обусловлена воздействием водных потоков или термальных растворов.

Слой 551/4 состоит из рыхлых интенсивно лимонитизированных обломков породы от 2 до 15 мм (см. рис. 6, а).

Слой 551/5 — обломки интенсивно лимонитизированной породы от 1 мм до 1 см. В некоторых обломках наблюдается зональное замещение лимонитом — края обломков имеют более светлый оттенок, чем ядро. В некоторых обломках наблюдается едва различимая микрокристаллическая структура, представленная агрегатом лимонитизированных игольчатых (до 0.5 мм в длину) кристаллов (см. рис. 6, а). Слой 551/6 — обломки интенсивно лимонитизированной породы от 1 до 7 мм.

Большинство обломков полностью замещаются лимонитом с образованием колломорфно-зональной структуры. В единичных обломках наблюдается реликтовая мелкообломочная структура, образованная мелкими (до 0.3 мм) обломками лимонитизированных кристаллов и обломков пород с округлыми краями (см. рис. 6, а).

Слой 551/7 — обломки интенсивно лимонитизированной породы от 2 до 7 мм. В обломках породы едва угадываются более мелкие отдельные полностью лимонитизированные обломки пород размером до 1 мм со сглаженными краями. Мелкие обломки сцементированы лимонитом (см. рис. 6, а).

В основании обоих шурфов полностью лимонитизированная порода с колломорфно-зональной структурой содержит единичные зерна магнетита размером до 0.5 мм. На некоторых участках наблюдаются пустоты от выкрошившихся при полировке зерен кристаллов (см. рис. 6, а).

Сечение второго шурфа, расположенного у основания вала (см. рис. 6, б) представлено суглинками.

Таким образом, результаты расчетов морфометрических параметров озера (слабая изрезанность береговой линии и форма зеркала озера напоминает кратер), наличие V-образного углубления и газогидротермальные выходы на этом участке дна, хорошо очерченный вал вокруг озера и обломочные отложения на валу могут свидетельствовать о взрывном происхождении котловины. Озеро похоже на маар, образованный в результате серии гидротермальных взрывов [Hedenquist, Henley, 1985; Lorenz, 1985,

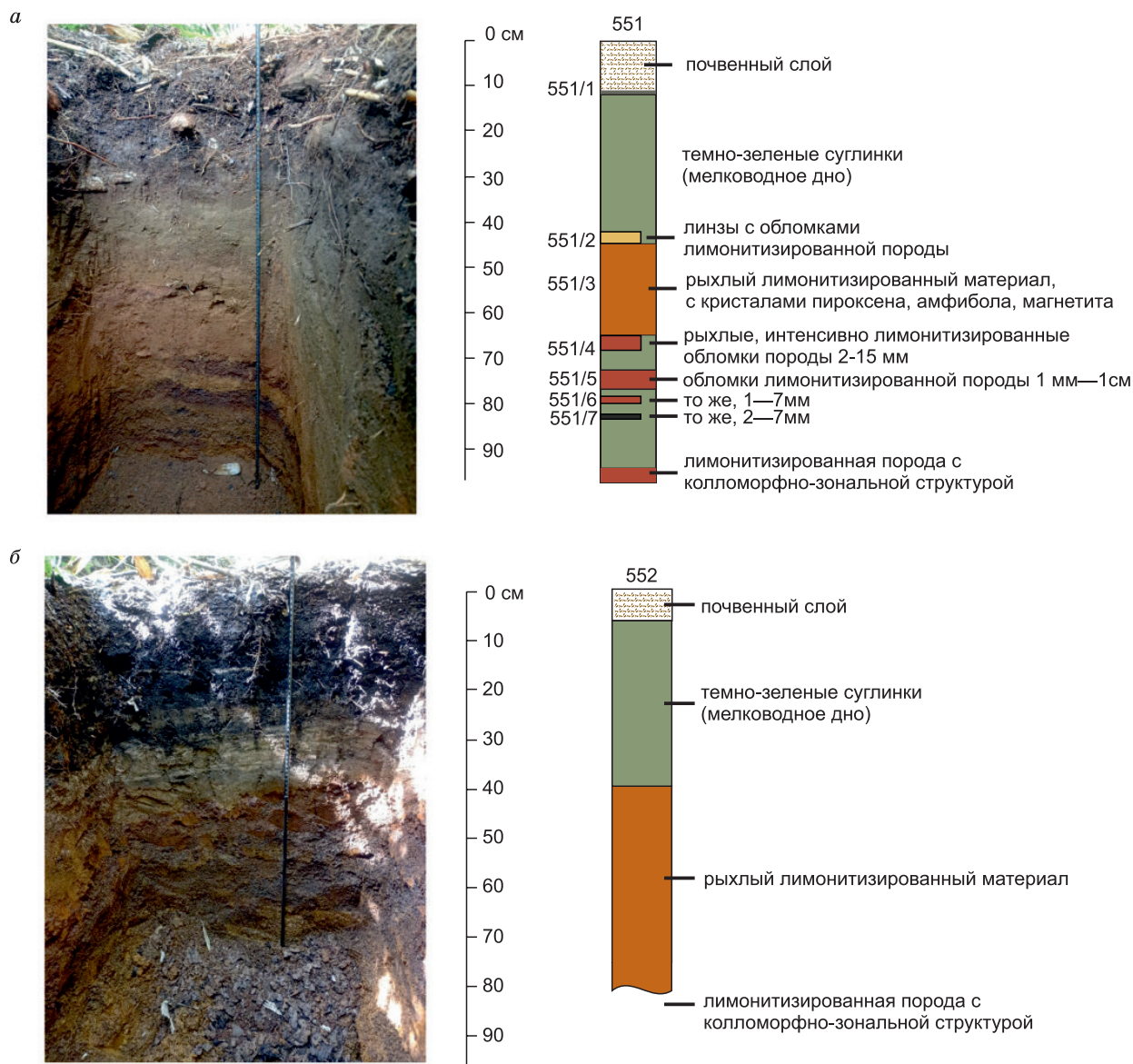


Рис. 6. Шурфы на валу оз. Утиная Баня.

а — шурф 1, *б* — шурф 2.

1986, 2003a, 2003b; Lorenz et al., 1998, 1999; Browne, Lawless, 2001; Lorenz, Kurszlaukis, 2007]. Однако авторы не берутся настаивать на данном предположении, так как для полной уверенности необходимо провести более детальные геолого-геоморфологические исследования этого района, в частности выполнить подробное изучение рельефа и отложений: построить гипсометрические профили в разных направлениях через озеро, выполнить шурфование и подробно описать фациальный и химический составы отложений, определить их объем и характер распространения, произвести отбор почвенного газа и пр.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследуемый район расположен в пределах отрицательной вулканотектонической структуры, сформированной в результате проседания кровли магматического очага. Озеро Утиная Баня также расположено в пределах этой депрессии. На рисунке 1 показано большое количество интрузивных тел, пространственно совпадающих с термальными проявлениями и расположенных вдоль разрывных нарушений. Субвулканические интрузивные тела являются главным источником теплового питания для многих гидротермальных систем [Nakamura, 1977; Белоусов, 1978; Kiryukhin et al., 2018]. Ярким при-

мером тому служат гидротермальные системы о. Итуруп: гидротермальная система района с. Рейдово, гидротермальная система влк. Баранского и др. В одной из последних работ, посвященной определению потенциала коммерческого развития высокотемпературной геотермии в Айдахо (США), Д. Нэльсон [Nielson et al., 2019] получил результаты, свидетельствующие, что растяжение приводит к быстрому подъему магмы к поверхности, способствуя формированию даек. В случае поступления больших объемов магмы создаются дополнительные напряжения, способствующие формированию силлов или плутонических тел, которые могут быть эффективными источниками тепла продолжительное время (до 20 000 лет).

Озеро Утиная Баня по физико-химическим характеристикам сходно с рядом источников, расположенных на вулканах Баранского, Тебенькова, Иван Грозный [Мархинин, Стратула, 1977; Жарков, 2014], но имеет существенные различия с Рейдовскими и другими источниками и термальными полями, приуроченными к перечисленным вулканическим постройкам.

Вероятнее всего, в районе оз. Утиная Баня существует остывающее интрузивное тело, за счет которого осуществляется тепловое питание источников, формирующих водоем. Схожая картина наблюдается и в других районах центральной части о. Итуруп, где есть термальные проявления (см. рис. 1). В районе термального оз. Утиная Баня интрузивные тела на дневной поверхности не наблюдаются. Однако ряд факторов (слабая изрезанность береговой линии и форма озерного зеркала, V-образное углубление и газогидротермальные выходы в центре озерной котловины, хорошо очерченный вал вокруг озера и обломочные отложения на валу) указывают на существование здесь мааро-диатремового вулканизма, который связан с фреатомагматическими или магматическими процессами и подробно описан в многочисленных работах В. Лоренца [Lorenz, 1985, 1986, 2003a, 2003b, Lorenz et al., 1998, 1999; Browne, Lawless, 2001; Lorenz, Kurszlaukis, 2007].

Поскольку такой тип вулканической активности контролируется взаимодействием магматических расплавов и летучих компонентов в корневой зоне, обломочные отложения на валу вокруг оз. Утиная Баня могут свидетельствовать об инъекции магматических расплавов в водоносные комплексы, что приводит к эксплозиям в верхней части питающей дайки. Когда подземные воды выбрасываются в виде водяного пара, то зеркало подземных вод образует депрессионную воронку. С подземными водами места эксплозий погружаются вглубь и новые очаги эксплозий формируются уже ниже произошедших взрывов [Boxer et al., 1989; Lorenz, Kurszlaukis, 2007]. Без постоянного участия подземных вод фреатомагматическая деятельность мааро-диатремовых вулканов может прекратиться.

Авторы признательны к.г.-м.н. О.В. Бергаль-Кувикас, к.г.-м.н. Е.И. Сандимировой, м.н.с. С.М. Захарову за сотрудничество; жителям с. Рейдово: В.В. Ольховскому, В.В. Тарико, В.В. Тарико за помощь в организации полевых работ.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 21-17-00049, <https://rscf.ru/project/21-17-00049/>.

ЛИТЕРАТУРА

Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М., Наука, 1978, 176 с.

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

Горшков Г.С., Мархинин Е.К., Родионова Р.И., Федорченко В.И., Шилов В.Н. Описание вулканов Курильских островов // Геология СССР / Под ред. А.В. Сидоренко, Г.М. Власова, М.Б. Белова. М., Недра, 1964, т. 31, с. 581—604.

Государственная геологическая карта Российской Федерации / Ред. В.К. Ротман. 1: 200 000. Изд. 2-е. Серия Курильская. Листы К-55, L-55. Объяснительная записка. СПб, ВСЕГЕИ, 2002, 269 с. + 6 вкл.

Данченко В.Я. Неогеновые структуры центрального типа и рудная минерализация Большой Курильской гряды // Геология, металлогения и гидрогеология Сахалина и Курильских островов. Владивосток, Изд-во ДВО РАН, 1991, с. 116—123.

Дегтерев А.В., Козлов Д.Н., Хубаева О.Р., Хомчановский А.Л. Экспедиция по изучению новых термальных проявлений на о. Итуруп в 2022 г. // Геосистемы переходных зон, 2022, т. 6, № 2, с. 130—135.

Жарков Р.В. Термальные источники Южных Курильских островов / Ред. О.В. Чудаев. Владивосток, Дальнаука, 2014, 378 с.

Козлов Д.Н. Кратерные озера Курильских островов. Южно-Сахалинск, Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2015, 112 с.

Козлов Д.Н. Морфология кратерного озера Красивое (о. Итуруп, Курильские о-ва) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2016, вып. 31, № 3, с. 65—71.

Козлов Д.Н., Лебедева Е.В. Кратерные и кальдерные озера Дальнего Востока России: морфология котловин и динамика развития // Известия РАН. Серия географическая, 2022, т. 86, № 2, с. 204—219.

Козлов Д.Н., Дегтерев А.В., Зарочинцев В.С. Кальдерное озеро Кольцевое: современное состояние и строение котловины (о. Онекотан, Северные Курильские острова) // Геосистемы переходных зон, 2018, т. 2, № 4, с. 359—364.

Мархинин Е.К. О состоянии вулканов острова Кунашир (март 1974 — май 1982 гг.) // Вулканология и сейсмология, 1983, № 1, с. 43—51.

Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М., Наука, 1977, 211 с.

Морфология рельефа / Ред. Г.Ф. Уфимцев. М., Научный мир, 2004, 184 с.

Муравейский С.Д. Реки и озера: гидробиология, сток. М., Географгиз., 1960, 125 с.

Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М., Наука, 1975, 237 с.

Полец А.Ю., Злобин Т.К. Применение метода катакластического анализа разрывных нарушений для исследований Южных Курил // Современная тектонофизика. Методы и результаты: материалы первой молодежной школы семинара. М., ИФЗ, 2009, с. 165—171.

Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М., Наука, 1976, 239 с.

Смирнов С.З., Соколова Е.Н., Рыбин А.В., Кузьмин Д.В., Тимина Т.В., Максимович И.А., Котов А.А., Бефус А.И., Шевко А.Я., Низаметдинов И.Р., Дегтерев А.В. Петрология магматических и метаморфических формаций // Материалы Всероссийской петрографической конференции с международным участием. Томск, Изд-во Том. ЦНТИ, 2016, вып. 8, с. 338—344.

Стрельцов М.И. Дислокации южной части Курильской островной дуги. М., Наука, 1976, 132 с.

Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М., Наука, 1989, 239 с.

Фролова Т.И., Перчук Л.Л., Бурикова И.А. Магматизм и преобразование земной коры активных окраин. М., Недра, 1989, 261 с.

Чешко А.Л. Формирование основных типов термальных вод Курило-Камчатского региона по данным изотопных исследований // Геохимия, 1994, № 7, с. 988—1000.

Boxer G.L., Lorenz V., Smith C.B. The geology and volcanology of the Argyle (AK1) lamproite diatreme, Western Australia // Proc. 4th International Kimberlite Conf., Perth, Australia. Geol. Soc. Aust., Spec. Publ., 1989, v. 14, p. 140—151.

Browne P.R.L., Lawless J.V. Characteristics of hydrothermal eruptions, with examples from New Zealand and elsewhere // Earth Sci. Rev., 2001, v. 52, p. 299—331.

Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Science, 1961, v. 133, p. 1702—1703, doi: 10.1126/science.133.3465.1702.

Hedenquist J.W., Henley R.W. Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization // Econ. Geol., 1985, v. 80, p. 1640—1668.

Hedenquist J.W., Houghton B.F. Epithermal gold mineralization and its volcanic environments. Taupo volcanic zone, New Zealand, 15—21 November, 1987, 395 p.

Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., Usacheva O.O., Kiryukhin P.A. Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high-temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // J. Volcanol. Geotherm. Res., 2018, v. 356, p. 36—55.

Kokh M.A., Akinfiev N.N., Pokrovski G.S., Salvi S., Guillaume D. The role of carbon dioxide in the transport and fractionation of metals by geological fluids // Geochim. Cosmochim. Acta, 2017, v. 197, p. 433—466.

Lorenz V. Maars and diatremes of phreatomagmatic origin, a review // Trans. Geol. Soc. S. Afr., 1985, v. 88, p. 459—470.

Lorenz V. On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff rings // Bull. Volcanol., 1986, v. 48, p. 265—274.

Lorenz V. Maar-diatreme volcanoes, their formation, and their setting in hard rock or soft rock environments // Geolines 15 (Hibsch 2002 Symp.), 2003a, p. 72—83.

Lorenz V. Syn- and post-eruptive processes of maar-diatreme volcanoes and their relevance to the accumulation of post-eruptive maar crater sediments // Földtani Kutatás, 2003b, v. 40, p. 13—22.

Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar-diatreme volcanoes // J. Volcanol. Geotherm. Res., 2007, v. 159 (1—3), p. 4—32.

Lorenz V., Zimanowski B., Büttner R., Kurszlaukis S. Formation of kimberlite diatremes by explosive interaction of kimberlite magma with groundwater: field and experimental aspects / Eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe, S.H. Richardson // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. The P.H. Nixon Vol., Cape Town, 1998, v. 2, p. 522—528.

Lorenz V., Zimanowski B., Büttner R. Discussion on the formation of kimberlite pipes: the phreato-magmatic model // Newsl. IAVCEI Commission on Explosive Volcanism, August 1999, p. 11—17.

Moyle A.J., Doyle B.J., Hoogvliet H., Ware A.R. Ladolam gold deposit, Lihir Island // AusIMM Monogr., 1990, v. 14, p. 1793—1806.

Nakamura K. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation – principle and proposal // J. Volcanol. Geotherm. Res., 1977, v. 2, p. 1—16.

Nielson D.L., Shervais J.W., Glen J. Conceptual model for a basalts-related geothermal system mountain home AFB, Idaho, USA // 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, CA, 2019, p. 1—4.

White D.E. Violent mud-volcano eruption of Lake City hot springs, northeastern California // GSA Bull., 1955, v. 66, p. 1109—1130.