

© Авторы 2024 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2024. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

ЭКСПЕДИЦИИ

УДК 550.8.028

<https://doi.org/10.30730/gtr.2024.8.1.047-055>
<https://www.elibrary.ru/abwmow>

Экспедиция «Итуруп 2022–2023»: основные направления работ и предварительные результаты

Ф. И. Батанов¹, И. Ф. Абкадыров¹, А. В. Дегтерев², С. М. Захаров¹, С. П. Коханова³,
Ю. В. Новиков¹, Т. К. Пинегина¹, Н. Г. Разжигаетова⁴, А. Л. Хомчановский¹, О. Р. Хубаева¹
@E-mail: tiocithree@gmail.com

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

³ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Резюме. В работе приводится информация о задачах, методах, объектах и некоторых предварительных результатах экспедиционных работ, выполненных в рамках реализации проекта РНФ № 21-17-00049 сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, Тихоокеанского института географии ДВО РАН и Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН в 2022 и 2023 гг. В число основных задач экспедиции входило проведение геолого-вулканологических, гидрогеологических, геофизических, тephрохронологических и палеосейсмологических исследований. В соответствии с поставленными задачами были сформированы полевые отряды, которые начали работу с февраля 2022. Полученные по итогам экспедиции данные позволили установить неизвестные ранее гидротермальные проявления и сейсмические события на о. Итуруп. Выполнен комплекс геофизических и палеомагнитных изысканий.

Ключевые слова: экспедиция, вулкан, береговые валы, сейсмический мониторинг, гидротермальная деятельность, Курильские острова

“Iturup 2022–2023” expedition: main directions of work and preliminary results

Philip I. Batanov¹, Ilyas F. Abkadyrov¹, Artem V. Degterev², Sergey M. Zakharov¹,
Sophiya P. Kokhanova³, Yury V. Novikov¹, Tatiana K. Pinegina¹, Nadezhda G. Razjigaeva⁴,
Anton L. Khomchanovskiy¹, Olga R. Khubaeva¹

@E-mail: tiocithree@gmail.com

¹ Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

² Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

³ Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴ Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper provides information on the objectives, methods, targets and some preliminary results of the expeditionary work carried out within the framework of the RSF project No.21-17-00049 by the employees of the Institute of Volcanology and Seismology of the FEB RAS, Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Pacific Geographical Institute of the FEB RAS, and Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the SB RAS in 2022 and 2023. The main objectives of the expedition were geological-volcanological, hydrogeological, geophysical, tephrochronological, and paleoseismological studies. In accordance with the set objectives, field teams were formed, which began work in February 2022. On the basis of the data obtained during the expedition, previously unknown hydrothermal manifestations and seismic events on Iturup Island were identified. A number of geophysical and paleomagnetic surveys were carried out.

Keywords: expedition, volcano, beach ridges, seismic monitoring, hydrothermal activity, Kuril Islands

Для цитирования: Батанов Ф.И., Абкадыров И.Ф., Дегтерев А.В., Захаров С.М., Коханова С.П., Новиков Ю.В., Пинегина Т.К., Разжигаева Н.Г., Хомчановский А.Л., Хубаева О.Р. Экспедиция «Итуруп 2022–2023»: основные направления работ и предварительные результаты. *Геосистемы переходных зон*, 2024, т. 8, № 1, с. 47–55. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.8.1.047-055>; <https://www.elibrary.ru/abwmmow>

Финансирование

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-17-00049 «Изучение вулканической, сейсмической и цунами опасности, а также оценка геотермальных ресурсов для развивающихся территорий Курильских островов»; руководитель акад. Е.И. Гордеев).

Введение

Итуруп, крупнейший по площади остров Курильской островной дуги, является одним из наиболее интересных объектов для изучения современной тектономагматической активности: здесь расположено большое количество действующих вулканов и крупных кальдер, нередко происходят вулканические извержения, землетрясения и цунами. На острове проживает постоянное гражданское население (6799 чел. по состоянию на 1.01.2021 г.), функционируют объекты инфраструктуры (в том числе порт-пункт «Курильск» в с. Китовое, аэропорт «Ясный»), предприятия рыбопромышленного комплекса, активно развивается туристическая отрасль. В связи с этим изучение опасных геологических процессов на острове является актуальной научной и практической задачей.

В 2022–2023 гг. в рамках реализации проекта РНФ «Изучение вулканической, сейсмической и цунамиопасности, а также оценка геотермальных ресурсов для развивающихся территорий Курильских островов» (№ 21-17-00049, <https://rscf.ru/project/21-17-00049>, руководитель Е.И. Гордеев) проведены комплексные полевые работы на о. Итуруп, в ходе которых выполнены гидролого-геохимические, электрографические, сейсмологические, палеомагнитные и палеосейсмологические исследования.

Цель настоящего сообщения – описать основные направления, методы и объекты комплексных исследований экспедиции «Итуруп 2022–2023» и некоторые предварительные результаты.

For citation: Batanov Ph.I., Abkadyrov I.F., Degterev A.V., Zakharov S.M., Kokhanova S.P., Novikov Yu.V., Pinegina T.K., Razjigaeva N.G., Khomchanovsky A.L., Khubaeva O.R. “Iturup 2022–2023” expedition: main directions of work and preliminary results. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2024, vol. 8, no. 1, pp. 47–55. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.1.047-055>; <https://www.elibrary.ru/abwmmow>

Funding

The work was carried with the financial support of Russian Science Foundation (project No. 21-17-00049, “Study of volcanic, seismic, and tsunami hazards and evaluation of geothermal resources for the developing areas of the Kuril Islands”, supervisor – Academician of RAS E.I. Gordeev).

Экспедиционные исследования

Изучение гидротермальных проявлений

В феврале и сентябре 2022 г. проведены полевые геоморфологические и гидрохимические исследования ранее неизвестного и неизученного термального проявления на оз. Утиная Баня, а также источников в районе мыса Конакова.

Для оз. Утиная Баня, а также на берегу Тихого океана в районе мыса Конакова выполнены термальная съемка на объектах и батиметрическая съемка озерной котловины, пройдены шурфы в районе оз. Утиная Баня, сделано нивелирование поперек озера для определения его генезиса, а также морфометрических характеристик, проведен отбор проб термальных источников на макро- и микрокомпонентный состав (АЭС-ИСП и МС-ИСП анализы). Анализы выполнялись на базе Центра коллективного пользования ЦКП «Микроанализ» при Лимнологическом институте СО РАН г. Иркутск и в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский. Результаты исследований опубликованы в работе, посвященной изучению оз. Утиная Баня [1].

Работы в районе мыса Конакова были сконцентрированы между двумя дайками, расположенными вдоль береговой линии. Температура грунта между дайками составляла 27 °С на поверхности и до 48 °С на глубине ~40 см. Гидротермы на этом объекте относятся к минеральным (11.7 г/л), нейтральным (рН 6.6), хлоридным натриевым водам. Ионные отношения в гидротермах мыса Ко-

накова (Na/Cl 0.83; Ca/Mg 0.2; SO_4/Cl 0.1; $\text{Cl}-\text{Na}/\text{Mg}$ 0.93; $\text{SO}_4/(\text{SO}_4+\text{Cl})$ 0.098) практически идентичны таковым для морских вод региона, что указывает на влияние морской воды или солевого состава морских осадков [2]. В прибрежных районах Курильских островов нередко встречаются термальные и минеральные источники подобного геохимического облика, например Водопадные и Башмачные термальные источники (о. Шиадоктан), Петушковские холодные минеральные источники и береговой холодный минеральный источник мыса Ключевой (о. Уруп) [2].

Электротомографические и геохимические работы в районе вулкана Баранского

Основной комплекс работ был сосредоточен на ручье Кипящий (рис. 1). Ручей протекает по южному подножию вулкана и берет начало у источников в непосредственной близости от ГеоТЭС «Океанская», которая расположена у подножия влк. Баранского на высоте 370 м н.у.м. Она была запущена в 2006 г. [3] и выведена из эксплуатации после аварии в 2013 г. Выполнено геохимическое опробование воды, образцов твердой фазы, образцов тяжелой фракции в 8 точках, более 20 газоаналитических замеров, проведены геофизические исследования термальных полей у подножия влк. Баранского. Непосредственно вдоль ручья и за его пределами были проложены три длинных профиля электротомографии. Шаг между электродами 5 м, длина расстановки 240 м. Суммарная длина единого профиля составила 480 м без учета рельефа. В районе выхода ультракислых ($\text{pH} = 1.2$) [4] термальных вод, известных как Голубые озера, был проложен поперечный профиль электротомографии. Температура данных источников составляет 96 °C [4]. Также выполнены профили микротомографии в районах котла на нижнем участке, грязевого котла на среднем участке и кипящего котла на верхнем участке. Измерения проводили с небольшим шагом между электродами, в данном случае использовалась расстановка Шлюмберже на 529 измерений с шагом 0.3 м, 48 электродов, итого длина профиля составляла 14 м. Глубина измерений, как правило, составляет одну четверть максимального разности электродов, т.е. максимально 3.5 м. Со-

ответственно, эффективная глубина зондирования около 2.5 м. Кроме того, в исследуемом районе измерены два больших профиля электротомографии. В общей сложности в районе влк. Баранского было выполнено 39 профилей электротомографии, из них 18 микротомографии, 25 газоаналитических замеров, отобраны образцы твердой фракции, тяжелой фракции и воды (рис. 1).

Тефрохронологические исследования

В июле 2022 г. к западу от ручья Пемзый и в 9.4 км на запад-юго-запад от перешейка Ветровой были продолжены исследования на вскрытом разрезе голоценовых отложений, именуемом «Гурам». Детально описан и опробован разрез, отобраны образцы палеопочв и пирокластики для определения возраста извержений. Результаты исследований подробно изложены в работе, посвященной изучению извержений на перешейке Ветровой [5].

Палеосейсмологические работы

В июле–августе 2022 г. и в сентябре–октябре 2023 г. были проведены первые на о. Итуруп работы по поиску и изучению геологических следов вертикальных косейсмических деформаций острова, связанных с сильными землетрясениями в районе Курило-Камчатской зоны субдукции.

Остров Итуруп расположен на расстоянии около 200 км от глубоководного Курило-Камчатского желоба. Глубина сейсмофокальной зоны (слэба) составляет около 50 км под самым восточным участком побережья и примерно 70 км под западным. Такая же глубина слэба характерна для наиболее удаленного от желоба побережья Авачинского залива (восточная Камчатка), где ранее сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН были идентифицированы следы трех мегаземлетрясений, сопровождавшихся косейсмическими опусканиями с амплитудами от первых десятков сантиметров до полутора метров [6].

Для поисков геологических следов косейсмических опусканий необходимы низкие аккумулятивные побережья, так как они способны реагировать даже на незначительные изменения относительного уровня моря. На восточном берегу о. Итуруп такие перспективные для изучения участки побережий

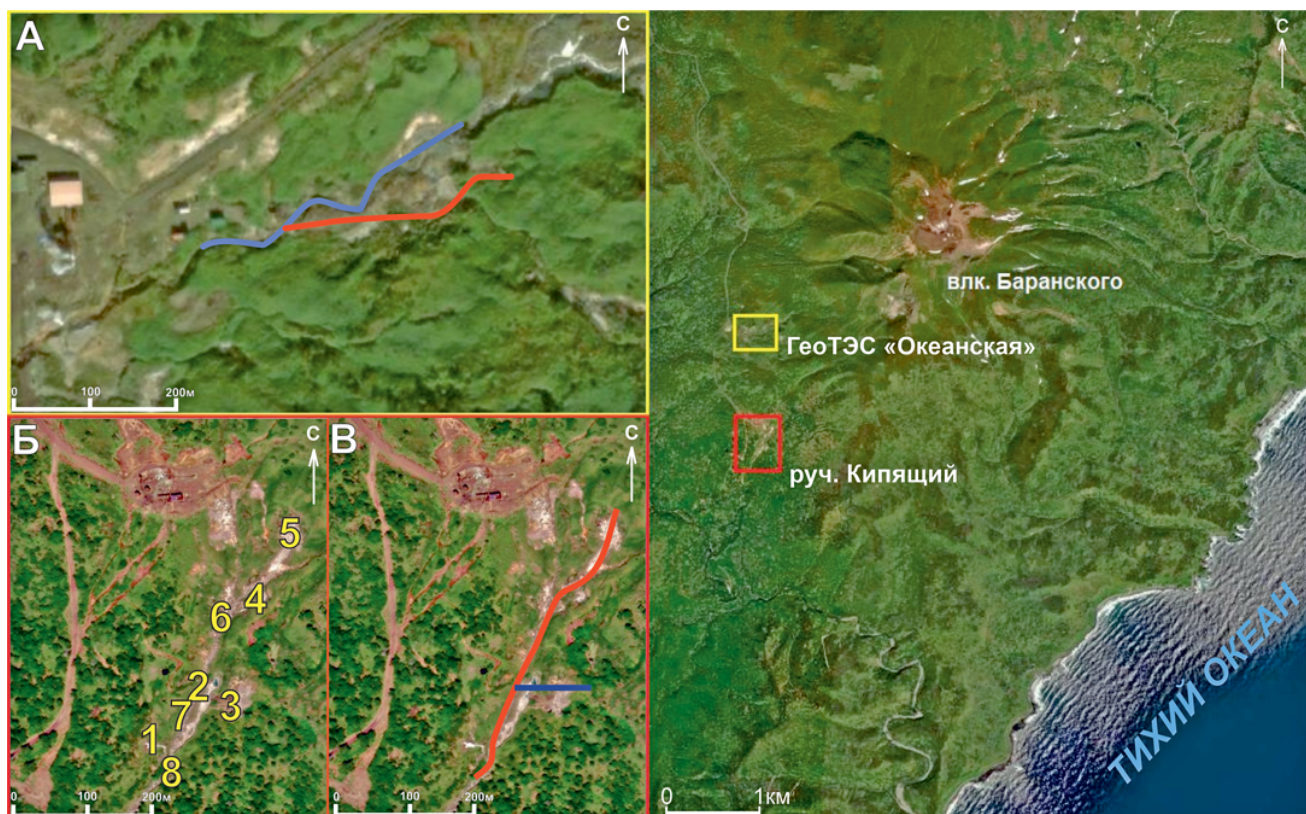


Рис. 1. Район работ на ГеоТЭС «Океанская» и ручье Кипящий. А – два профиля электротомографии в верхней части термального поля ГеоТЭС «Океанская»; Б – точки пробоотбора на ручье Кипящий: 1 – котел на нижнем участке (конденсат, вода, твердое вещество), 2 – Голубые озера (конденсат, вода, твердое вещество), 3 – холодный ручей, впадающий в ручей Кипящий (вода), 4 – грязевой котел на среднем участке (конденсат, вода, твердое вещество), 5 – кипящий котел на верхнем участке (конденсат, вода, твердое вещество), 6 – холодный ручей с верхнего участка (вода), 7 – холодный ручей после впадения части ручья в Кипящий (вода), 8 – ручей после смешения холодного и горячего водотоков (вода); В – профили электротомографии: красным выделены три длинных профиля, проложенных по руслу ручья, синим – поперечный профиль, проходящий через Голубые озера.

Fig. 1. Work area at the Okeanskaya geothermal power plant and Kipyashchij Creek. A – two electrical tomography profiles in the upper part of the thermal field of the Okeanskaya geothermal power plant; Б – sampling points on Kipyashchij Creek: 1 – pot in the lower area (condensate, water, and solids), 2 – Golubye Lakes (condensate, water, and solids), 3 – cold stream flowing into Kipyashchij Creek (water), 4 – mudpot in the middle area (condensate, water, and solids), 5 – boiling pot at the top area (condensate, water, and solids), 6 – cold stream from the upper area (water), 7 – cold stream after the confluence with Kipyashchij Creek (water), 8 – stream after the mixing of cold and hot waters (water); В – electrical tomography profiles: three long profiles laid along the stream bed are highlighted in red, a transverse profile passing through the Golubye Lakes is highlighted in blue.

отсутствуют. В юго-западной части острова (со стороны Охотского моря, рядом с зал. Доброе начало) расположено оз. Доброе (рис. 2), на берегах которого сформировано несколько серий береговых валов. В настоящее время озеро пресное, из него в Охотское море вытекает протока – р. Тихая. Судя по результатам дешифрирования космоснимков, уровень озера и протоки могли периодически меняться в результате резких вертикальных косейсмических опусканий и последующих поднятий в межсейсмический интервал. Колебания уровня воды могут запечатлеваться в геологическом строении аккумулятивной озерной террасы. Поэтому побережье данного озера было

выбрано в качестве объекта палеосейсмологических исследований (рис. 2).

Во время исследований 2022 г. было изучено более 10 разрезов торфяников и почвенно-пирокластических чехлов. Описанные и отобранные многочисленные горизонты тefры, скорее всего, относятся к вулканам Атсонупури и Стокап. К востоку от оз. Доброе было изучено строение береговых валов и межваловых понижений, позволяющее восстановить картину развития озера-лагуны, оценить амплитуды вертикальных движений и проявлений эксплозивного вулканизма в этом районе за последние тысячи лет. Были проведены замеры высот береговых валов, шурфо-

вочные и буровые работы с описанием разрезов и кернов, отбором вулканических пеплов и озерных песков. В итоге выявлено несколько этапов косейсмических опусканий земной поверхности, в результате которых более древние береговые валы оказались ниже современных. По-видимому, наиболее молодое опускание могло быть связано с недавним историческим сейсмическим событием (возможно, 1958 г.). Так, произраставший ранее в районе оз. Доброе высокий пихтовый лес в настоящее время погиб от переувлажнения корневой системы в результате опускания (рис. 3).

В 2023 г. исследования проведены на берегу Курильского залива Охотского моря к югу от устья р. Курилка, где расположена морская аккумулятивная терраса протяженностью не более 1 км. Выполнена батиметрическая съемка подводного берегового склона залива и измерены топографические профили на поверхности террасы. Исследуемая территория в прошлом использова-

лась человеком, что оставило заметный отпечаток на облике террасы, однако авторам данной работы удалось найти почти нетронутые участки береговых валов для изучения почвенно-пирокластического чехла с сохранившейся



Рис. 2. Район работ на побережье зал. Доброе начало и оз. Доброе. Белые точки – места заложения шурфов.

Fig. 2. Work area on the coast of Dobroe Nachalo Bay and Lake Dobroe. White dots are the locations of the trenches.



Рис. 3. Погибший пихтовый лес в районе оз. Доброе. Фото Т.К. Пинегиной

Fig. 3. Dead fir forest in the area of Lake Dobroe. Photo by T.K. Pinegina

последовательностью этапов развития морской террасы. В результате шурфовочных работ на береговых валах найдены следы опускания побережья, выраженные в геологических разрезах как погребенные уступы размыва активного пляжа. Обнаруженные следы косейсмических опусканий в Курильске, по-видимому, связаны с одним сейсмическим событием. В погребенном уступе на всех участках обнаружен слой тефры, предположительно, от извержения влк. Тарумаэ (о. Хоккайдо) [7], из чего следует, что найденное событие моложе 280 лет.

После получения данных радиоуглеродного анализа из отобранных образцов органики и диатомового анализа можно будет оценить повторяемость в голоцене сильнейших сейсмических событий в районе Южных Курил, что необходимо для долгосрочного прогноза как землетрясений, так и цунами [8].

Сейсмологические исследования

В 2021 г. для изучения глубинного строения о. Итуруп были установлены три временные сейсмические станции (IT01, IT02, IT03) в дополнение к трем имевшимся на острове станциям Сахалинского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» (г. Курильск – станция KUR, пос. Китовый –

станция KURRC, пос. Рейдово – РЕЙД). Места установок станций выбирались с учетом создания равномерного треугольника на площади со сторонами 13–15 км и транспортной доступности. Такое количество станций является возможным минимумом для уверенной регистрации локальных землетрясений на острове. В рамках данного эксперимента были использованы широкополосные велосиметры Guralp CMG-6TD (Великобритания), осуществляющие регистрацию сейсмического сигнала в диапазоне от 0.033 до 50 Гц.

В сентябре 2022 г. временная локальная сеть увеличилась до 12 сейсмических пунктов наблюдения. Станции устанавливались на расстоянии 10–15 км друг от друга вдоль основных дорог на острове. Таким образом, удалось относительно равномерно покрыть приборами центральную часть о. Итуруп (рис. 4). В 2023 г. временная сеть была демонтирована.

В пунктах IT10–IT12 установлены датчики Guralp 6TD, которые до этого работали в пунктах IT01–IT03 и были перенесены во время расширения сети. Такой перенос приборов был связан с транспортной логистикой на острове и необходимостью обслуживания приборов после их работы в течение года в полевых условиях.

В девяти других дополнительных пунктах наблюдений (IT01–IT09) совместно с датчиками Guralp CMG-6T устанавливались регистраторы Data Cube3 ext (Германия), которые обладают широким частотным диапазоном (0.033–100 Гц) регистрации сейсмического сигнала. Установка приборов производилась по разработанному коллективом проекта способу, концептуальная схема которого показана на рис. 5. Подобный способ установки временных станций был неоднократно испытан во время изучения глубинного строения земной коры под вулканами Камчатки. Координаты пунктов установки и тип приборов приведены в таблице.



Рис. 4. Схема расстановки сети сейсмических станций на о. Итуруп в 2022 г. Желтыми треугольниками обозначены постоянные станции СФ ФИЦ ЕГС РАН. Красные точки – полевая установка сейсмических станций в рамках проекта.

Fig. 4. Layout of seismic station network on Iturup Island in 2022. Yellow triangles indicate permanent stations of the Sakhalin Branch of the Federal Research Center of the GS RAS. Red dots indicate field seismic station installation within the project.

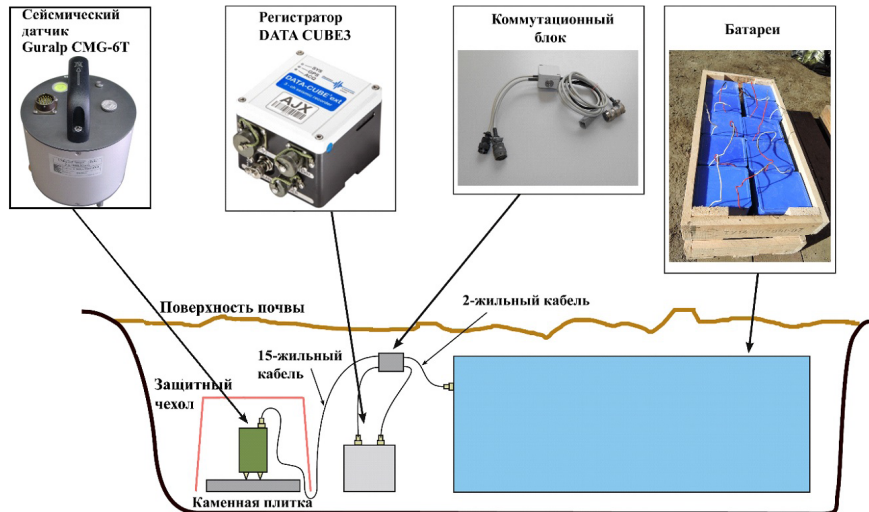


Рис. 5. Концептуальная схема установки сейсмостанции.

Fig. 5. Conceptual diagram of seismic station installation.

Таблица. Координаты временных пунктов наблюдений на о. Итуруп и типы приборов в 2022 г.

Table. Coordinates of temporary observation points on Iturup Island and types of devices in 2022

№	Пункт наблюдения	Координаты, °		Высота, м	Серия прибора DataCube / Guralp 6T	Дата установки
		N	E			
1	IT01	45.15666	147.96692	437	BN8 / T6M69	23.09.2022
2	IT02	45.233647	148.094447	37	ADH / T6M65	23.09.2022
3	IT03	45.291244	147.87874	28	B7H / T6M68	22.09.2022
4	IT04	45.172848	147.793104	319	ADF / T6M63	22.09.2022
5	IT05	45.099592	147.698074	50	B1A / T6M62	22.09.2022
6	IT06	44.922238	147.590256	56	BJE / T6M64	22.09.2022
7	IT07	45.009622	147.721377	9	B17 / T6M61	22.09.2022
8	IT08	45.084244	147.986442	311	B7G / T6M70	23.09.2022
9	IT09	45.231688	148.195981	306	B16 / T6M67	25.09.2022
10	IT10	45.217371	148.305807	17	T6E02	25.09.2022
11	IT11	45.275374	148.371408	224	T6D33	25.09.2022
12	IT12	45.273889	148.497451	31	T6D99	25.09.2022

Палеомагнитные исследования

В ходе полевых работ за 2 года было отобрано 20 участков для палеомагнитных исследований. В 2023 г. в общей сложности исследовано 11 участков, получено 187 образцов кернов (8 точек потоков лав, 2 точки гиалокластитов, 1 точка вулканогенно-осадочных пород). С каждой точки отбора взяты пробы для геохимического и геохронологического анализа.

В дальнейшем на базе лаборатории геодинамики и палеомагнетизма Центральной и Восточной Арктики Новосибирского государственного университета будет проведен комплекс

лабораторных петромагнитных и палеомагнитных экспериментов для установки компонентного состава намагниченности, обоснования возраста и природы регулярных компонент. Планируется измерить анизотропию магнитной восприимчивости, определить ее степень и зависимость от направления течения расплава для построения модели движения расплава. С использованием образцов гиалокластитов будет проведен классический тест галек для обоснования первичного происхождения выделенных характеристических компонент намагниченности. Также планируется поставить эксперимент

по характеру намагниченности разных частей потоков – краевых и центральных, провести поиск промежутка экскурса или полноценной инверсии магнитного поля Земли для полноценного описания динамики его изменения.

Заключение

В результате проведения комплексных работ авторы получили новые данные о неизвестных ранее гидротермальных проявлениях на о. Итуруп, обнаружили следы вертикальных косейсмических движений суши – последствий сильнейших землетрясений. Выполнено временное сейсмическое наблюдение территории острова, на которой сконцентрированы объекты гражданской инфраструктуры. Отобраны образцы лавовых потоков для палеомагнитного исследования.

Коллектив авторов выражает благодарность за помощь в проведении работ жителям о. Итуруп.

Список литературы

- Хубаева О.Р., Дегтерев А.В., Козлов Д.Н., Хомчановский А.Л., Жарков Р.В., Батанов Ф.И. **2023**. Морфология и особенности формирования термального озера Утиная Баня (о. Итуруп, Южные Курильские острова) *Геология и геофизика*, т. 64 (9): 1258–1269. <https://elibrary.ru/contents.asp?selid=54013393&id=46656987>
- Мархинин Е.К., Стратула Д.С. **1977**. *Гидротермы Курильских островов*. М.: Наука, 212 с.
- Ежкин А.Е., Жарков Р.В., Кордюков А.В. **2015**. Оценка воздействия геотермальной электростанции «Океанская» (вулкан Баранского, о-в Итуруп) на окружающую среду методом лишеноиндикации. *Вестник ДВО РАН*, 2: 109–117. EDN: TTYLJR
- Калачева Е.Г. Экспедиционные исследования Курильских островов в 2021 г. **2021**. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 3(51): 101–110. EDN: SZBKVO; <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-3-51-101-110>
- Бергаль-Кувикас О.В., Смирнов С.З., Агатова А.Р., Дегтерев А.В., Разжигаета Н.Г., Портнягин М.В., Карманов Н.С., Тимина Т.Ю. **2023**. Голоценовое эксплозивное извержение на перешейке Ветровой (о. Итуруп) как источник маркирующего горизонта тефры (~2000 лет назад) в центральной части Курильской островной дуги. *Доклады РАН. Науки о Земле*, 551(1): 46–54.
- Pinegina T.K., Bourgeois J., Bazanova L.I., Zelenin E.A., Krashennnikov S.P., Portnyagin M.V. **2020**. Coseismic coastal subsidence associated with unusually wide rupture of prehistoric earthquakes on the Kamchatka subduction zone: A record in buried erosional scarps and tsunami deposits. *Quaternary Science Reviews*, 233, 106171. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106171>
- Razzhigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M. **2016**. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quaternary International*, 397: 63–78. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.070>
- Пинегина Т.К., Разжигаета Н.Г., Дегтерев А.В., Хомчановский А.Л. **2023**. По следам голоценовых сильных землетрясений острова Итуруп. *Природа*, 3(1291): 51–57.

References

- Khubaeva O.R., Degterev A.V., Kozlov D.N., Khomchanovskii A.L., Zharkov R.V., Batanov F.I., **2023**. Morphology and specific features of formation of thermal Lake Utinaya Banya (Iturup Island, Southern Kuril Islands). *Russian Geology and Geophysics*, 64(9): 1048–1057. <https://doi.org/10.2113/rgg20234551>
- Markhinin E.K., Stratula D.S. **1977**. [*Hydroterms of the Kuril Islands*]. Moscow: Nauka, 212 p. (In Russ.).
- Ezhkin A.E., Zharkov R.V., Korodyukov A.V. **2015**. Assessment of environmental effects of the “Okeanskaya” geothermal power plant (Baransky volcano, Iturup Island) by the lichenoindication method. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 2: 109–117. (In Russ.). EDN: TTYLJR
- Kalacheva E.G. **2021**. Expeditional exploration of the Kuril Islands in 2021. *Vestnik KRAUNЦ. Nauki o zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 3(51): 101–110. (In Russ.). EDN: SZBKVO; <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-3-51-101-110>
- Bergal-Kuvikas O.V., Smirnov S.Z., Agatova A.R., Degterev A.V., Razhigaeva N.G., Pinegina T.K., Portnyagin M.V., Karmanov N.S., Timina T.Yu. **2023**. The Holocene explosive eruption on Vetrovoi Isthmus (Iturup Island) as a source of the marker tephra layer of 2000 cal. yr BP in the Central Kuril Island arc. *Doklady Earth Sciences*, 511(1): 550–557. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23600597>
- Pinegina T.K., Bourgeois J., Bazanova L.I., Zelenin E.A., Krashennnikov S.P., Portnyagin M.V. **2020**. Coseismic coastal subsidence associated with unusually wide rupture of prehistoric earthquakes on the Kamchatka subduction zone: A record in buried erosional scarps and tsunami deposits. *Quaternary Science Reviews*, 233, 106171. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106171>
- Razzhigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M. **2016**. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quaternary International*, 397: 63–78. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.070>
- Pinegina T.K., Razzhigaeva N.G., Degterev A.V., Homchanovskij A.L. **2023**. [Along the traces of the Holocene strong earthquakes of Iturup Island]. *Priroda*, 3(1291): 51–57. (In Russ.).

Об авторах

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, лаборатория активной тектоники и палеосейсмологии:

Батанов Филипп Игоревич (<https://orcid.org/0000-0003-0504-1728>), младший научный сотрудник, tiocithree@gmail.com

Абкядыров Ильяс Фаритович (<https://orcid.org/0009-0006-0671-9931>), научный сотрудник, aifgf@mail.ru

Пинегина Татьяна Константиновна (<https://orcid.org/0000-0001-6284-8830>), доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, pinegk@yandex.ru

Хомчановский Антон Леонидович (<https://orcid.org/0000-0001-8573-5062>), кандидат географических наук, старший научный сотрудник, khomscience@mail.ru

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, лаборатория динамики и строения вулканических систем:

Захаров Сергей Михайлович (<https://orcid.org/0009-0002-7397-6170>), научный сотрудник, zakharov.sergey.m@gmail.com

Новиков Юрий Владимирович (<https://orcid.org/0000-0003-3663-9204>), инженер, yura_nov.1996@mail.ru

Хубаева Ольга Руслановна (<https://orcid.org/0000-0002-0145-0981>), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, grifon03@yandex.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, лаборатория вулканологии и вулканопасности:

Дегтерев Артем Владимирович (<https://orcid.org/0000-0001-8291-2289>), кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, d_a88@mail.ru

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, лаборатория эколого-экономического моделирования техногенных систем:

Коханова София Павловна (<https://orcid.org/0009-0001-7735-5913>), научный сотрудник, sofiya.kokhanova@gmail.com

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, лаборатория палеогеографии и геоморфологии:

Разжигаева Надежда Глебовна (<https://orcid.org/0000-0001-7936-1797>), доктор географических наук, главный научный сотрудник, rgleb33@mail.ru

Поступила 27.12.2023

Принята к публикации 25.02.2024

About the Authors

Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Laboratory of active tectonics and paleoseismology:

Batanov, Philip I. (<https://orcid.org/0000-0003-0504-1728>), Junior Researcher, tiocithree@gmail.com

Abkadyrov, Ilyas F. (<https://orcid.org/0009-0006-0671-9931>), Researcher, aifgf@mail.ru

Pinegina, Tatiana K. (<https://orcid.org/0000-0001-6284-8830>), Doctor of Geology and Mineralogy, Leading Researcher, pinegk@yandex.ru

Khomchanovsky, Anton L. (<https://orcid.org/0000-0001-8573-5062>), Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, khomscience@mail.ru

Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Laboratory of dynamics and structures of volcanic systems:

Zakharov, Sergey M. (<https://orcid.org/0009-0002-7397-6170>), Researcher, zakharov.sergey.m@gmail.com

Novikov, Yury V. (<https://orcid.org/0000-0003-3663-9204>), Engineer, yura_nov.1996@mail.ru

Khubaeva, Olga R. (<https://orcid.org/0000-0002-0145-0981>), Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, grifon03@yandex.ru

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Laboratory of volcanology and volcanic hazard:

Degterev, Artem V. (<https://orcid.org/0000-0001-8291-2289>), Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, d_a88@mail.ru

Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Laboratory of ecological and economic modeling of technogenic systems:

Kokhanova, Sofiya P. (<https://orcid.org/0009-0001-7735-5913>), Researcher, sofiya.kokhanova@gmail.com

Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Laboratory of paleogeography and geomorphology:

Razjigaeva, Nadezhda G. (<https://orcid.org/0000-0001-7936-1797>), Doctor of Geography, Principal Researcher, rgleb33@mail.ru

Received 27 December 2023

Accepted 25 February 2024