

ВУЛКАН ИВАН ГРОЗНЫЙ (ОСТРОВ ИТУРУП, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА): ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЙ И СОВРЕМЕННАЯ АКТИВНОСТЬ

©2024 Р.В. Жарков¹, О.В. Бергаль-Кувикас^{2,3}, А.В. Дегтерев¹,
Ф.А. Романюк¹, С.Е. Борисовский³

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, 693022;
e-mail: rafael_zharkov@mail.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006

³Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, Россия, 119017

Поступила в редакцию 06.02.2023; после доработки 10.05.2024; принята в печать 25.06.2024

Приведены сводные данные по исторической активности вулкана Иван Грозный (о. Итуруп, Курильские о-ва), включающие результаты собственных исследований сольфатарно-гидротермальной и эруптивной деятельности вулкана с 2004 г. На основе современных аналитических методов получены данные по химическому составу пород постройки вулкана и пирокластике эксплозивного извержения в 2012–2013 гг. Состав пород постройки вулкана варьирует от андезитов до дациандезитов умереннокалиевой серии. Пирокластика извержения 2012–2013 гг. по валовому химическому составу соответствует андезитам со средним содержанием калия. Вещественный состав стекол по данным микрозондовых исследований значительно кислее. Полученные значения схожи с геохимическими составами продуктов извержений 1973 и 1989 гг. С учетом доминирующего в центральной части о. Итуруп ветрового режима проведена оценка опасности от пеплопадов вероятных будущих извержений вулкана Иван Грозный, свидетельствующая о преобладающем распространении пепла в северо-западном, западном и юго-западном направлениях.

Ключевые слова: Курильские острова, вулкан Иван Грозный, пирокластика, вулcanoопасность.

ВВЕДЕНИЕ

Остров Итуруп находится в южной части Курильских островов (рис. 1а), имеет 9 вулканов, проявлявших активность в историческое время (рис. 1б). Вулкан Иван Грозный (абс. выс. — 1159 м), расположенный в центральной части о. Итуруп (рис. 1в), можно считать наиболее активным вулканом этого острова. Несмотря на то, что летописная история его активности известна лишь начиная со второй половины XX столетия — 1964–1965, 1967–1968, 1970–1973, 1989 и 2012–2013 гг. (Абдурахманов и др., 1990; Жарков, Козлов, 2013), — суммарно это больше, чем количество извержений остальных действующих вулканов о. Итуруп за аналогичный период. Все исторические извержения вулкана Иван Грозный были эксплозивными и при этом относительно слабыми, высота пепловых

выбросов не превышала 3 км над ур. м. (Абдурахманов и др., 1990; Жарков, Козлов, 2013). История эруптивной активности вулкана Иван Грозный к настоящему времени не изучена, но судя по морфологии сложной вулканической постройки можно предположить, что еще относительно недавно (тысячи лет назад) в жизни вулкана имели место мощные эруптивные события. Учитывая расположение вулкана Иван Грозный в наиболее заселенной и хозяйственно освоенной части о. Итуруп, проблема оценки его вулканической опасности является крайне актуальной. В радиусе 33 км от вулкана находятся все населенные пункты острова и расположены основные инфраструктурные объекты, в том числе предприятия рыбопромышленного комплекса, порт-пункт «Курильск» в с. Китовое, аэропорт «Ясный», ГеоТЭС «Океанская» (законсервирована с 2014 г. по н.в.), термальные

комплексы в долине р. Кипящая, «Жаркие Воды», «Ванночки» (рис. 1б). При эксплозивных извержениях вулканический пепел также может представлять серьезную угрозу не только для населения и наземных объектов инфраструктуры, но и для местных и международных авиалиний, проходящих вдоль Курильской островной гряды. В настоящее время мониторинг за активностью вул. Иван Грозный основывается на спутниковых данных и нерегулярных визуальных наблюдениях, какая-либо наземная инструментальная база слежения за состоянием вулкана (сейсмические станции, GPS/TILLT-станции и пр.) отсутствует. Поэтому любые новые данные, позволяющие лучше охарактеризовать активность и вещественный состав этого труднодоступного вулкана, представляют большую ценность для будущих исследований и оценки вулканопасности региона.

Цель настоящей публикации — обобщить все доступные сведения по исторической активности вул. Иван Грозный, дополнив их результатами собственных исследований, в т.ч. актуальными данными по сольфатарно-гидротермальной активности, извержениям и петрохимии пород, отобранных в ходе полевых работ в 2013 г. (рис. 1г).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная часть материалов, представленных в настоящей публикации, была получена в ходе полевых работ на о. Итуруп в 2012–2013 гг., организованных с целью изучения термальных вод центральной части острова и описания последствий извержения вулкана Иван Грозный (Жарков, 2014).

Аналитические работы по определению концентраций главных и редких элементов в валовых пробах образцов вулкаников и точечный микрозондовый анализ вулканических стекол выполнены в Центре коллективного пользования Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (г. Москва). Измерения петрогенных окислов проводились методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios mAX Advanced производства компании PANalytical (Нидерланды). Спектрометр снабжен рентгеновской трубкой мощностью 4 кВт с Rh-анодом. Максимальное напряжение на трубке 60 кВ, максимальный анодный ток 160 мА. Анализ главных компонентов выполнен по методике НСАМ ВИМС 439-РС (2010). Для исследования химического состава по этой методике из материала проб выплавлялись стеклообразные диски

путем индукционного нагрева прокаленного материала проб с боратами лития при температуре 1200 °С. В качестве контрольных образцов использованы стандартные образцы геологической службы США (USGS). Полученные значения международных стандартов соответствуют допущенным ошибкам определения согласно методике измерений НСАМ ВИМС 439-РС (2010). Определение концентраций редких элементов было выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) на приборе NEXION 2000С (США). Качество измерений и пробоподготовки контролировалось эталонными стандартами горных пород геологической службы США (USGS). Использовались стандарты андезита AGV-2 и риолита RGM-2. Полученные значения международных стандартов соответствуют допущенным ошибкам определения согласно методике измерений НСАМ № 501-МС (2011). Пробоподготовка основных и средних пород была проведена методом кислотного разложения по методике (Бычкова и др., 2016). Анализы стекол были выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8200 фирмы JEOL. Микроанализатор оснащен 5 спектрометрами с дисперсией по длинам волн и энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) с дисперсией по энергии. Рабочее ускоряющее напряжение составляло 20 кВ при токе пучка 10 нА. Диаметр пучка был расширен до 6 мкм. Время экспозиции на все элементы составляло 10 с на линии и по 5 с на фоне по обеим сторонам от линии. Измерение Si, Al, Mg, Na проводилось на кристалле TAP; Ca, K, Ti, P на кристалле PET; Fe и Mn на кристалле LIF. Эталонами сравнения служили апробированные внутрилабораторные стандарты: санидин В-19 (для K, Al, Si), чкаловит — $\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$ (для Na), эгирин С-38 (для Fe, Na), анортит К-2-У (для Ca, Al), спессартин АВР (для Mn, Al), шорломит С-68 (для Ti), оливин В-14 (для Mg) и DuPO_4 (для P). Для обеспечения стока заряда исследуемые образцы напыляли углеродной пленкой толщиной около 200 ангстрем. Расчет матричных поправок осуществлен по методу ZAF с использованием фирменной программы JEOL.

Анализ пепла эксплозии 18 августа 2012 г. проведен в лаборатории аналитической химии Аналитического центра Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток); ответственный исполнитель Н.В. Зарубина, аналитики В.Н. Каминская, В.Н. Залевская, Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало, Ю.М. Иванова. Определение содержания H_2O и SiO_2 выполнено методом гравиметрии, определение содержания остальных элементов выполнено методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре

ВУЛКАН ИВАН ГРОЗНЫЙ

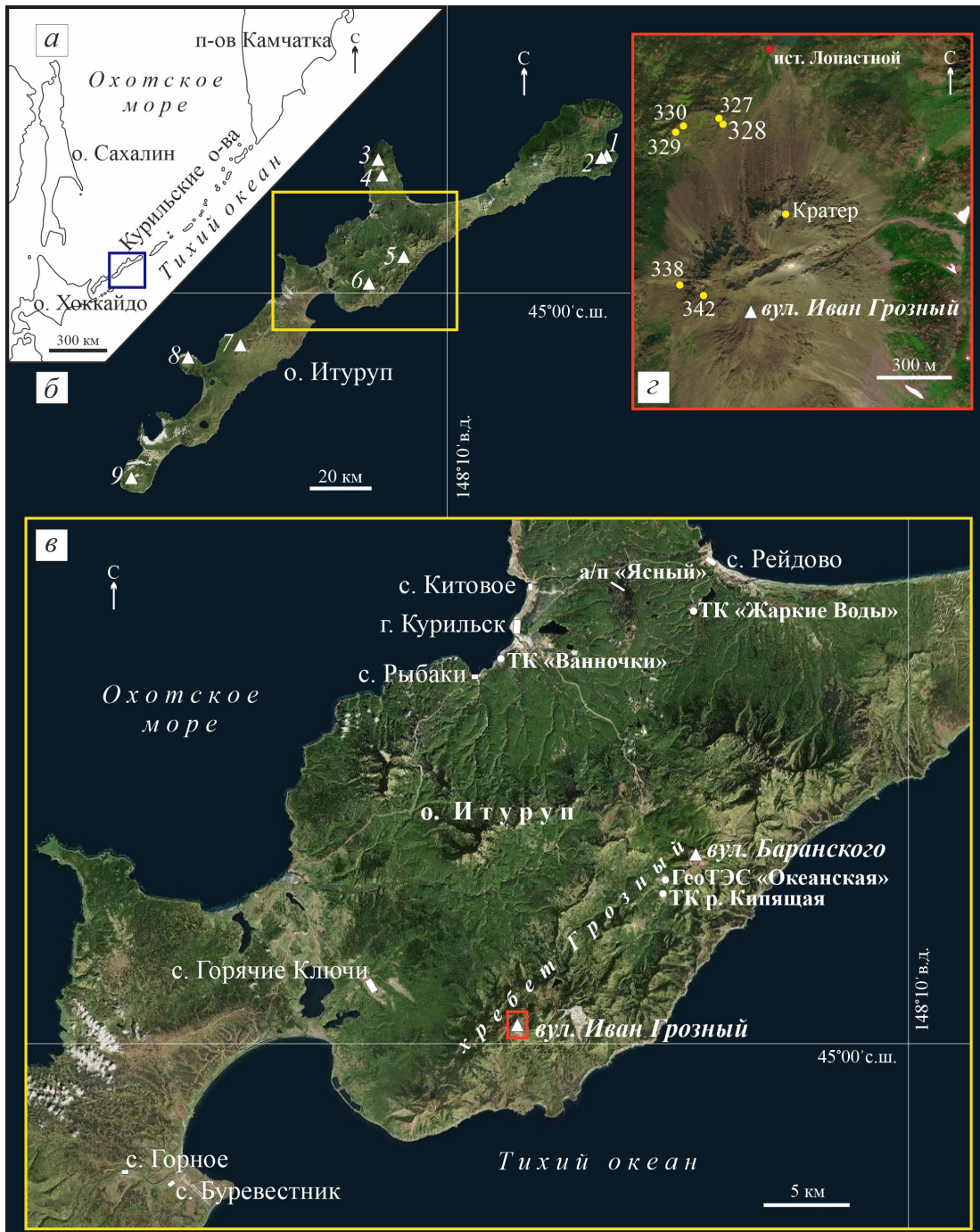


Рис. 1. Схема расположения Курильских островов (а); активные вулканы о. Итуруп (б): 1 — вулкан Кудрявый, 2 — вулкан Меньший Брат, 3 — вулкан Чирип, 4 — вулкан Богдан Хмельницкий, 5 — вулкан Баранского, 6 — вулкан Иван Грозный, 7 — вулкан Стокап, 8 — вулкан Атсонупури, 9 — вулкан Берутарубе; географическое положение вулкана Иван Грозный, населенные пункты и инфраструктурные объекты центральной части о. Итуруп (в): ТК — термальный комплекс, ГеоТЭС — геотермальная электростанция, а/п — аэропорт; схема расположения точек геологического опробования в 2013 г. на склонах вулкана Иван Грозный (z): желтые круги — местоположение точек опробования, их номера и названия, красный круг — гидротермы источника Лопастной.

Fig. 1. Location scheme of the Kuril Islands (a); active volcanoes of Iturup Island (б): 1 — Kudryavy volcano, 2 — Menshiy Brat volcano, 3 — Chirip volcano, 4 — Bogdan Khmel'nitsky volcano, 5 — Baransky volcano, 6 — Ivan Grozny volcano, 7 — Stokap volcano, 8 — Atsonupuri volcano, 9 — Berutarube volcano; geographical location of Ivan Grozny volcano, settlements and infrastructural facilities in the central part of Iturup Island (в): ТК — thermal complex, ГеоТЭС — geothermal power plant, а/п — airport; scheme of location of geological sampling points in 2013 on the slopes of Ivan Grozny volcano (z): yellow circles — location of sampling points, their numbers and names, red circle — hydrotherms of the Lopastnoy spring.

iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США). Пробоподготовка к инструментальному анализу проводилась с помощью открытого кислотного разложения ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HF}$).

Оценка вулканической (пепловой) опасности основана на базе данных, включающей диаграммы и таблицы ветрового режима (Mastin, 2017), выполненные для каждого действующего вулкана из каталога (Siebert et al., 2010). В основе базы лежит метеорологическая модель NCEP/NCAR Reanalysis 1 (Kalnay et al., 1996), использующая массив данных региональных метеостанций и результаты численного моделирования погоды за историческое время. Данные о скорости и направлении ветра для каждого вулкана получены путем линейной интерполяции за период с 1 января 1990 г. по 28 декабря 2009 г. и рассчитаны по двум показаниям за день (00:00 и 12:00 UTC). Все эти данные представлены в серии диаграмм, разделенных на четыре периода (январь–март, апрель–июнь, июль–сентябрь, октябрь–декабрь) и по высоте выбросов над ур. м.: 0–5, 5–11, 11–16, 16–24 и 24–40 км.

Во оформлении картосхем использованы спутниковые снимки из SAS.Планета 200606.10075 Stadle, © 2022 CNES/Airbus и © 2022 Maxar

Technologies из Google Earth Pro, построение картосхем выполнено в CorelDRAW Graphics Suite X8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Действующий вул. Иван Грозный расположен в юго-западной части вулканического хребта Грозный (рис. 1*б*), в который также входят активный вул. Баранского и не проявлявшие активность в исторический период времени вулканы Тебенькова, Мачеха и др. (рис. 2). Своим названием вулкан обязан прозвищу русского царя Ивана (Иоанна) IV Васильевича — Грозный (1530–1584 гг.) (Гальцев-Безюк, 1992).

Основные детали геологического строения и морфологии вулкана Иван Грозный, как и подавляющего большинства действующих вулканов Курильской островной дуги, были установлены Г.С. Горшковым (1967), который определил, что вулкан построен по типу Сомма-Везувий и осложнен рядом побочных образований. Кроме того, он выделил кальдерную депрессию и расположенные в ее пределах многочисленные разновозрастные вулканические аппараты. Фрагменты соммы, имеющие вид сильно эро-

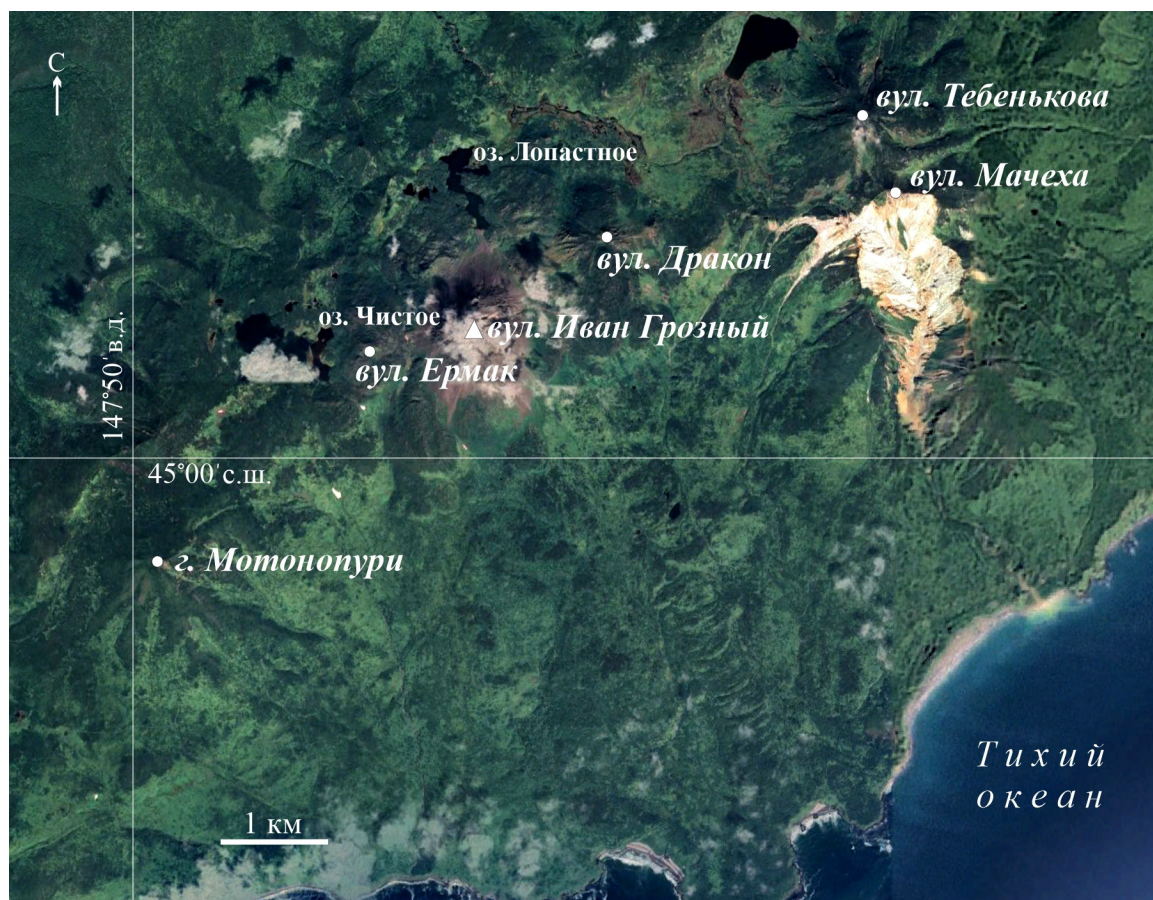


Рис. 2. Вулканы хребта Грозный (центральная часть о. Итуруп).

Fig. 2. Volcanoes of the Grozny Ridge (central part of Iturup Island).

ВУЛКАН ИВАН ГРОЗНЫЙ

дированных хребтиков, сохранились по всему периметру за исключением юго-восточного сектора, гребень кальдеры почти полностью разрушен и прослеживается только на западе и северо-западе, достигая отметки 700–750 м над ур. м., ее диаметр составляет 3–3.5 км (Горшков, 1967). По данным (Абдурахманов и др., 1990; Федорченко и др., 1989), древняя постройка вулкана имеет ранне-среднеплейстоценовый возраст, к средне-верхнеплейстоценовым образованиям в пределах данного массива относятся

г. Мотонопури и сохранившаяся часть пологого конуса, увенчанного широким кратером с эффузивным куполом Ермак (рис. 3). В кратере, между куполом Ермак и внутренним склоном конуса, расположено лавоподпрудное оз. Чистое (рис. 2). К наиболее молодым (позднеплейстоцен-голоценовым) образованиям, слагающим сложный вулканический массив Иван Грозный, относятся слившиеся своими основаниями купола Ермак, Иван Грозный, Дракон, которые вместе с многочисленными более мелкими вулканическими

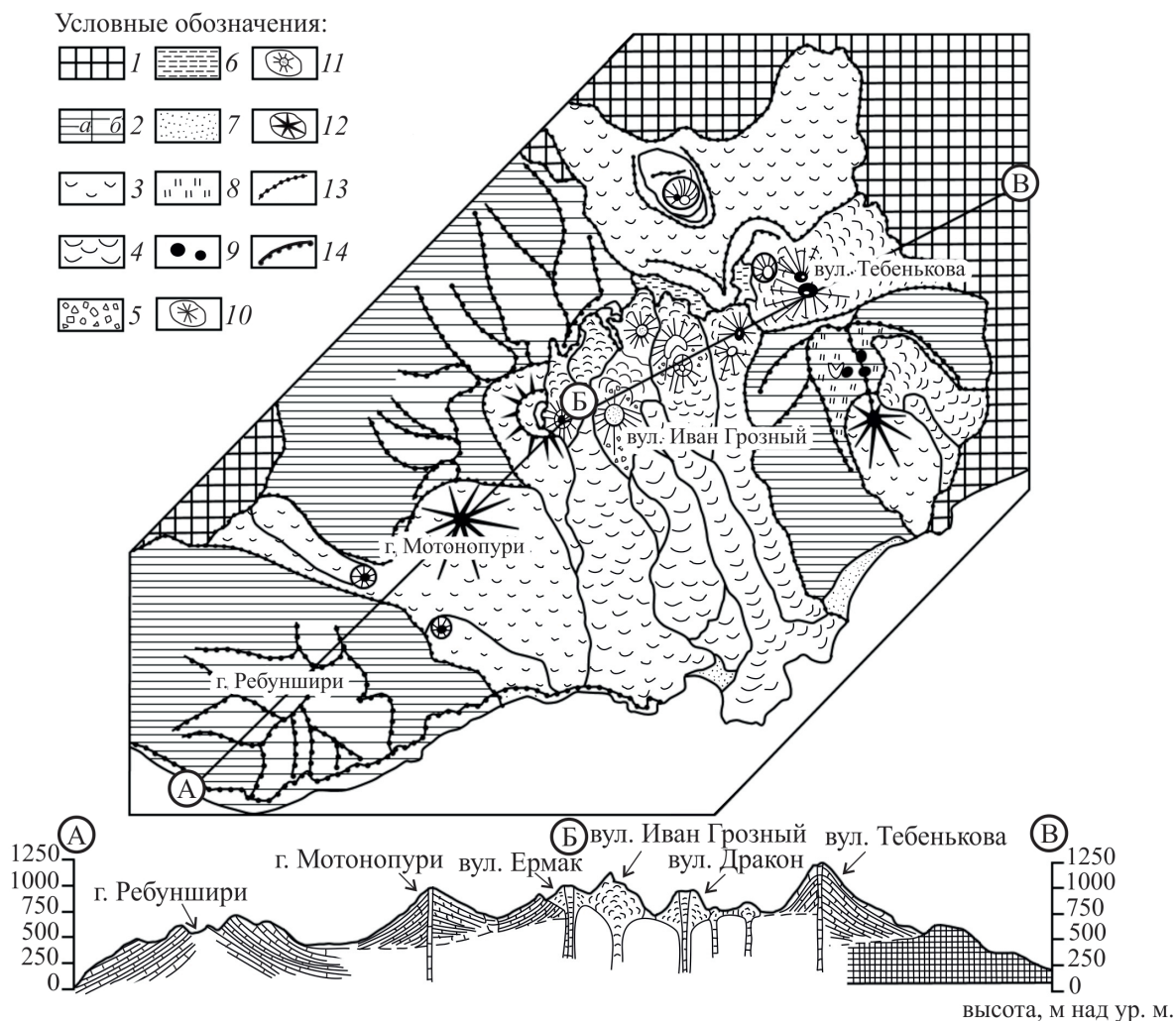


Рис. 3. Схема геологического строения хребта Грозный по (Федорченко и др., 1989): 1 — неогеновый фундамент; 2 — реликты построек раннесреднеплейстоценовых стратовулканов: *a* — участки первичных склонов, *b* — вскрытые эрозией, внутренние части конусов; 3 — позднеплейстоценовые вулканические образования; 4 — голоценовые вулканические образования; 5 — агломератовая мантия экструзивных куполов; 6 — голоценовые озерные отложения; 7 — современный морской пляж; 8 — гидротермально измененные породы; 9 — вскрытые жерла (некки); 10 — голоценовые конусы с кратерами; 11 — эффузивные куполы; 12 — вулканические конусы с барранкосами; 13 — обрывы; 14 — гребни водоразделов. А–Б–В — линия геологического разреза.

Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Grozny Ridge (according to Fedorchenko et al., 1989): 1 — Neogene basement; 2 — relics of Early Middle Pleistocene stratovolcanoes: *a* — areas of primary slopes, *b* — inner parts of cones opened by erosion; 3 — Late Pleistocene volcanic formations; 4 — Holocene volcanic formations; 5 — agglomerate mantle of extrusive domes; 6 — Holocene lake sediments; 7 — modern sea beach; 8 — hydrothermally altered rocks; 9 — exposed vents (necks); 10 — Holocene cones with craters; 11 — effusive domes; 12 — volcanic cones with barrancos; 13 — cliffs; 14 — crests of watersheds. А–Б–В is the line of geological section.

образованиями формируют цепочку северо-восточного простирания (Абдурахманов и др., 1990). Современный экструзивный купол Иван Грозный имеет сложное строение, его высота относительно уровня лавоподпрудного оз. Лопастное составляет около 500 м. Детальное описание морфологии купола приведено в работах (Горшков, 1967; Жарков, 2013, 2014; Корсунская, 1958; Семакин и др., 2000¹). Он состоит из трех крупных блоков, осложненных взрывными воронками, агломеративная мантия почти всюду опускается до подножия (рис. 1а), в некоторых местах на склонах из-под нее выступают короткие лавовые потоки, указывая на то (Горшков, 1967), что купол вырос в кратере более старого центрального конуса. В северной части потоки доходят до стенки кальдеры, а на юге более старые потоки спускаются вниз на несколько километров (рис. 2). К северо-востоку от купола Иван Грозный возвышается крупный экструзивный купол Дракон. Острые лавовые зубцы окружают остатки вершинного взрывного кратера, из которого к югу и северу излились потоки вязкой лавы. Объем постройки вулкана Иван Грозный составляет 2.86 км³, а вулкана Дракон — 1.08 км³ (Бергаль-Кувикас, 2015).

Активность вулкана Иван Грозный в историческое время. Достоверной и подтвержденной информации о деятельности вулкана Иван Грозный в XVIII–XIX вв. в доступных исторических очерках (Полонский, 1994; Сноу, 1992) не найдено. Первые сведения об активности вулкана могут быть отнесены к середине XIX века: на японской карте Сахалино-Курильского региона 1854 г. (Жарков, 2014) в районе нынешнего хребта Грозный изображен вулкан, на вершине которого расположены мощные сольфатары, а у подножия указан термальный источник. По устному сообщению Р. Фурукава (Институт геологии и геоинформатики, г. Цукуба, Япония (Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan/AIST, Tsukuba, Japan)), на этой карте может быть запечатлено длительное извержение вулкана Иван Грозный, в результате которого сформировался экструзивный купол.

Летом 1951 г. были получены сведения об усилении активности вул. Иван Грозный (Горш-

ков, 1954), очевидцами наблюдалось «пламя», но позже Г.С. Горшков (1958) однозначно отнес эту активность к вулкану Баранского. В действительности, по рассказам местных жителей (Корсунская, 1958), огненные отблески и темный «дым» виднелись над вершиной вулкана Баранского, а вул. Иван Грозный в 1940–1950-х гг., судя по описаниям и фотографиям (Горшков, 1954, 1967; Корсунская, 1958), проявлял постоянную сольфатарную деятельность на северном склоне.

В 1964–1965 гг. отмечалось парение у северо-восточного подножия купола, температура паров на выходе не превышала 60 °С (Абдурахманов и др., 1990). В июле–августе 1967 г. из с. Буревестник наблюдались струи белого пара над вершинным кратером. Зимой 1967–1968 гг. эти струи отчетливо наблюдались постоянно, в феврале 1968 г. местные жители заметили на снегу слой пепла мощностью 1–3 мм, который был принесен со стороны вулкана. В 1970 г. очевидцы наблюдали слабый пепловый выброс близ вершины вулкана, с января 1971 г. до середины мая 1973 г. отмечались белые газовые струи с северо-восточной стороны вершины купола, а 16 мая 1973 г. в 6:40 по местному времени над вулканом поднялся черный пеплово-газовый столб высотой ~ 600 м, 17 мая на северном склоне вулкана выпал резургентный пепел (Абдурахманов и др., 1990).

Затем был долгий период относительного затишья в активности вулкана. По данным В.С. Знаменского и И.Б. Никитиной (1985), температура вершинной сольфатары в начале 1980-х гг. была значительно выше 100 °С. Температура сопутствующих сольфатар достигала 100 °С. В составе газов вершинной сольфатары преобладали H₂S (63%) и углекислый газ (28%). При облете вулкана сахалинскими учеными в сентябре 1988 г. была отмечена его повышенная сольфатарная активность (Абдурахманов и др., 1990).

Следующее извержение, детально описанное в работе (Абдурахманов и др., 1990), началось 3 мая 1989 г. почти непрерывными выбросами парогазовых клубов, из которых, со временем, образовался пеплово-газовый столб высотой до 2 км. При первом выбросе на склоне вулкана возникла новая трещина, затем дважды взрывы происходили из вершинной трещины. В дальнейшем наблюдались взрывы различной интенсивности, происходившие вплоть до конца августа 1989 г. В верхней части кратерной трещины образовался взрывной кратер, имеющий вид воронки диаметром ~ 30 м, который слабо парил; более мощные сольфатары расположились ниже, вдоль кратерной трещины, а также в оперяющих ее трещинах отрыва. Температура газов в устье одной из фумарол достигала 149 °С. На продолжении кратерной трещины, ниже по склону были отмечены выходы пароводяных

¹ Семакин В.П., Штейнберг Г.С., Рыбин А.В. и др. Вулканическое районирование и контроль состояния вулканов Курильской островной дуги: отчет о научно-исследовательской деятельности. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2000. 97 с. Инв. № 3166 (Фонды ИМГиГ ДВО РАН). [Semakin V.P., Shteynberg G.S., Rybin A.V. et al. Vulkanicheskoye rayonirovaniye i kontrol' sostoyaniya vulkanov Kuril'skoy ostrovnouy dugi: otchet o nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN. 2000. 97 p. Inv. № 3166 (Fondy IMGIG DVO RAN) (in Russian)].

струй с температурой до 100 °С. Образовавшаяся в начале мая 1989 г. новая трещина пересекала северный склон купола в 100 м ниже вершины. Ее длина составила 60–70 м, ширина от 1 до 3 м, видимая глубина порядка 40 м и более. Именно на дне этой вновь образовавшейся трещины в то время были сосредоточены наиболее мощные сольфатарные выходы. В районе трещины сохранились отложения резургентного пепла, мощность которого местами достигала 20 см (Абдурахманов и др., 1990).

В период с 1989 г. по 2012 г. основная сольфатарная деятельность вулкана Иван Грозный была локализована в пределах четырех участков (Жарков, 2014; Семакин и др., 2000). Самый мощный очаг выходов сольфатарных газов был расположен в трещине извержения 1989 г. на высоте ~ 1120 м, второй — на восточном борту глубокой взрывной воронки. Третий участок сольфатарной разгрузки был приурочен к небольшой трещине, расположенной на границе северного блока со склоном купола — так называемая северная трещина. Четвертый выход находился северо-восточнее трещины извержения 1989 г. С 1990 по 1998 гг. проводились замеры температуры наиболее мощных сольфатар и отбирались пробы газов на вул. Иван Грозный (Семакин и др., 2000). Зафиксированная максимальная температура наиболее мощных сольфатар трещины извержения 1989 г. достигала 220 °С (1990 г.), при этом в газовом составе преобладали CO₂ (83.4% в сухом газе) и H₂S (12.6%). В последующие годы температура этих сольфатар варьировала в пределах 157–197 °С, в составе преобладали CO₂ (37–50% в сухом газе), H₂S (10–40%), SO₂ (7–49%), содержания HCl достигали 0.7–28%, N₂ до 2.2–9%. Другие участки сольфатарной разгрузки имели схожий газовый состав, но температуры в пределах 100–160 °С. После извержения 1989 г. на южном берегу оз. Лопастное у северного подножия

купола появился термальный источник. С 1990 г. по 1994 г. его температура составляла 28 °С, затем постепенно увеличивалась, достигнув в 1997 г. 35 °С (Семакин и др., 2000).

В сентябре 2004 г. были обследованы сольфатары купола вул. Иван Грозный и термальный источник Лопастной (Жарков, 2010, 2014). Температура сольфатарных выходов в восточной части трещины 1989 г., образующих мощный парогазовый столб, составила 95.5 °С. Температура других сольфатарных участков на куполе вулкана варьировала в пределах 88–91.5 °С. В районе термального источника было обнаружено несколько выходов пара с температурой до 40 °С, кислые (pH = 2.6) сульфатно-хлоридные натриевые воды источника имели температуру 41.5 °С.

Очередное извержение вул. Иван Грозный началось в середине августа 2012 г. Извержение предварялось сейсмической подготовкой в период с января по август 2012 г. — сейсмостанцией «Курильск» Сахалинского филиала Геофизической службы РАН (о. Итуруп) были зафиксированы десятки сейсмических событий непосредственно под вулканическим хребтом Грозный и южнее, в акватории Тихого океана. Наиболее сильное землетрясение с эпицентром на южном склоне вулкана зафиксировано 6 августа, его магнитуда составила 4.3. В ночь на 16 августа в г. Курильск чувствовался резкий запах газов и выпал светло-серый пепел мощностью 1–2 мм, также пепел покрыл вершину купола Иван Грозный. В последующие дни эксплозии отмечались 18–19, 21, 24 и 25 августа с высотой пеплово-газовых столбов от 300 до 1200 м над кратером (рис. 4а). 26 августа в 20:04 из г. Курильск наблюдалась пепловая колонна, которая за несколько минут поднялась на высоту более 2 км. По данным сейсмостанции «Курильск» СФ ГС РАН (о. Итуруп), этой

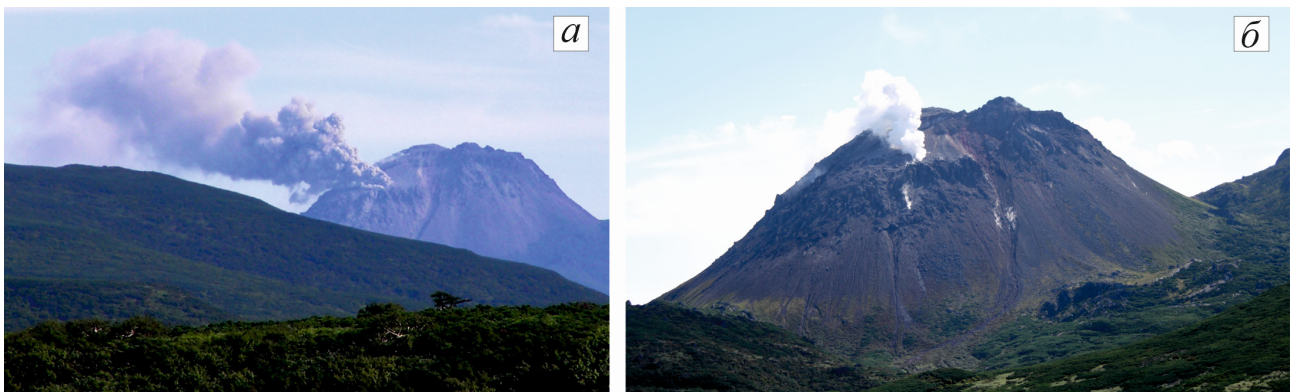


Рис. 4. Извержение вулкана Иван Грозный в 2012–2013 гг.: эксплозия 25 августа 2012 г. (а) (фото Р.В. Жаркова), эксплозия 28 августа 2012 г. (б) (фото В.Б. Гурьянова).

Fig. 4. Ivan Grozny volcano eruption in 2012–2013: explosion on August 25, 2012 (а) (photo by R.V. Zharkov), explosion on August 28, 2012 (б) (photo by V.B. Guryanov).

эксплозии предшествовало землетрясение $M 3.9$ с эпицентром в 4 км северо-западнее вулкана. 28 августа сотрудники Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), г. Южно-Сахалинск совместно с МЧС и отделом по делам ГО и ЧС МО «Курильский городской округ» совершили облет вулкана Иван Грозный на вертолете, выполнили инфракрасную, фото- и видеосъемку вулкана и прилегающей территории. Визуально вулкан после серии эксплозий не изменился, отложения пепла отмечены на вершинной части купола, а основной очаг парогазовой деятельности был сосредоточен на высоте ~ 1030 м (рис. 4б). По данным проведенной тепловизионной съемки (Жарков, Козлов, 2013) температура парогазового столба составляла $150\text{--}200$ °С. 29 августа в 18:00 произошел небольшой пепловый выброс, над вулканом появился серый шлейф, который со временем протянулся до вулкана Баранского. Следующая эксплозия зафиксирована 28 сентября в 16:30, со стороны с. Горячие Ключи наблюдалась эруптивная колонна высотой около 1 км. С октября 2012 по март 2013 гг. вулкан характеризовался повышенной парогазовой активностью, в ясную погоду местные жители постоянно наблюдали мощный парогазовый столб. Последние эксплозии были отмечены в апреле 2013 г.: 3 апреля около 19:20 эруптивная колонна поднялась на высоту более 2 км, в с. Горячие Ключи и г. Курильск выпало 2–3 мм пепла; 4 апреля в 13:30 произошел кратковременный выброс пепла на высоту более 3 км, пепловое облако перемещалось в северо-западном направлении (Жарков, 2014; Жарков, Козлов, 2013).

В ходе проведенных в августе 2013 г. полевых работ (Жарков, 2014) обследовался купол вул.

Иван Грозный, а также термальный источник Лопастной. Физико-химические параметры термального источника после извержения 2012–2013 гг. существенно не изменились: слабо-минерализованная ($M = 1.2$ г/дм³), сульфатно-хлоридная натриевая вода с $pH = 2.05$ имела температуру 40 °С. Трещина извержения 1989 г. на вершине купола не претерпела существенных изменений, температура сольфатарных газов в восточной части трещины достигала 90 °С. Ниже по склону, на месте северной трещины на высоте ~ 1030 м (по данным портативного навигатора Garmin GPSMAP 62s) образовался открытый к северу кратер размером 60×80 м. На дне и отвесных стенках кратера мощные парогазовые выходы, на восточном краю кратера среди баллистических блоков обнаружены вулканические бомбы размерами до 2–3 м с растрескавшейся поверхностью (рис. 5а). Севернее купола были обнаружены единичные баллистические блоки, выброшенные на расстояние до 1.5 км от центра извержений, а также небольшие вулканические бомбы с пористой внутренней частью и плотной наружной поверхностью типа «хлебной корки» (рис. 5б). У северного подножия купола под отложениями обломочного материала лахара видны участки погребенного снега, что свидетельствует о возникновении лахара в результате эксплозий в апреле 2013 г.

Вещественный состав изверженных пород вулкана Иван Грозный. Данных о составе современных изверженных пород вул. Иван Грозный в научной и фондовой литературе крайне мало, в основном они ограничены данными о химическом составе пеплов недавних исторических извержений (Абдурахманов и др., 1990; Федорченко и др., 1989).



Рис. 5. Бомбы и баллистические блоки на краю кратера вулкана Иван Грозный (а) (фото Р.В. Жаркова); бомба (образец 327) на северном склоне вулкана Иван Грозный (б) (фото Р.В. Жаркова). Местоположение образца представлено на рис. 1з.

Fig. 5. Bombs and ballistic blocks on the edge of the crater of Ivan Grozny volcano (а), photo by R.V. Zharkov; bomb (sample 327) on the northern slope of Ivan Grozny volcano (б) (photo by R.V. Zharkov). The location of the sample is shown in Fig. 1z.

Пеплы извержений 1973, 1989 и 2012–2013 гг. по химическому составу схожи между собой. В мае 1973 г. на северном склоне вулкана Иван Грозный выпал резургентный пепел (Абдурахманов и др., 1990) андезитового состава (SiO_2 — 59.23%) умереннокалиевой серии (K_2O — 0.91%) (табл. 1). Аналогичный химический состав имел пепел, выпавший в мае 1989 г. у верхней трещины экструзивного купола, а пепел, отобранный у нижней трещины (Абдурахманов и др., 1990), по химическому составу более кислый и относится к дациандезитам (SiO_2 — 63.00%) умереннокалиевой серии (K_2O — 0.94%) (табл. 1).

В 2012 г. пепел, выпавший в районе ГеоТЭС «Океанская» на юго-западном склоне вулкана Баранского, по своему составу (табл. 1) соответствовал андезиту (SiO_2 — 57.20%) умереннокалиевой серии (K_2O — 1.03%). В гранулометрическом составе преобладали частицы пылевой фракции размером <0.05 мм — 38%; крупнозернистые частицы диаметром более 0.25 мм составляли всего 0.4%; средняя масса пепла по оси пеплопада составила 5.5 г/м² (Жарков, 2014).

В пеплах извержения 2013 г., которые были собраны 3 апреля в г. Курильск, наряду с обломками пород старой вулканической постройки встречается свежее вулканическое стекло, свидетельствующее о поступлении небольшого количества вещества из верхней части магматической камеры (устное сообщение к.г.-м.н. А.В. Рыбина, ИМГиГ ДВО РАН). Отобранные образцы

представлены светло-серыми алевритистыми песками, отмытая от пылевой части фракция 0.1–0.3 мм сложена тремя компонентами: свежее, не подверженные вторичным изменениям плагиоклаз, клинопироксен, ортопироксен, магнетит, кварц, полупрозрачные обломки основной массы с микролитами плагиоклазов (около 80%) — типичный минеральный состав андезитов купола вул. Иван Грозный; вулканическое стекло — свежее, прозрачное, обломки угловатой формы (до 15%); гидротермально измененные породы (зеленоватые эффузивы, криптокристаллические светло-серые кремнистые породы, гематит) около 2%; в пылевой части также обнаруживается сходный набор минералов, но здесь преобладают обломки прозрачного вулканического стекла угловатой формы. Пеплы 2013 г. изучены только оптическими методами, но достаточно уверенно можно утверждать о присутствии в них ювенильного материала и в целом классифицировать извержение вул. Иван Грозный как фреато-магматическое.

В 2013 г. были отобраны образцы позднеплейстоценовых (?) лавовых потоков, пород купола вулкана и вулканических бомб извержения 2012–2013 гг. (рис 1а), результаты их химических и микронзондовых анализов приведены в таблицах 2, 3.

Валовый химический состав анализируемых магматических пород (табл. 2) вул. Иван Грозный варьирует от андезитов до дацианде-

Таблица 1. Химический состав пеплов извержений вулкана Иван Грозный в 1973 г., 1989 г. и 2012 г. (мас. %)

Table 1. Chemical composition of ashes of eruptions of the Ivan Grozny volcano in 1973, 1989 and 2012 (wt.%)

Образец	1	2	3	4
SiO_2	59.23	59.88	63.00	57.2
TiO_2	0.79	0.82	0.80	0.65
Al_2O_3	14.25	15.28	13.54	17.28
Fe_2O_3	3.67	2.62	3.45	7.41
FeO	4.33	6.91	4.52	
MnO	0.10	0.13	0.15	0.12
MgO	3.71	3.82	2.90	3.21
CaO	5.33	7.88	7.44	7.58
Na_2O	2.70	1.35	2.18	2.73
K_2O	0.91	0.48	0.94	1.03
P_2O_5	не обн.	0.08	0.09	0.08
H_2O	0.23	0.74	0.71	0.60
Сумма	100.21	100.11	99.82	97.89

Примечание. 1 — пепел, выпавший 17 мая 1973 г. (Абдурахманов и др., 1990); 2 — пепел, выпавший 8 мая 1989 года у верхней трещины (Абдурахманов и др., 1990); 3 — пепел, выпавший 8 мая 1989 года у нижней трещины (Абдурахманов и др., 1990); 4 — пепел, выпавший 18 августа 2012 г. в районе ГеоТЭС «Океанская».

Note. 1 — ash that fell on May 17, 1973 (Abdurakhmanov et al., 1990); 2 — ash that fell on May 8, 1989 near the upper crack (Abdurakhmanov et al., 1990); 3 — ash that fell on May 8, 1989 near the lower crack (Abdurakhmanov et al., 1990); 4 — ash that fell on August 18, 2012 in the area of the «Okeanskaya» geothermal power plant.

Таблица 2. Петрогенные окислы (мас. %) и микроэлементы (ppm) пород вулкана Иван Грозный, отобранных в 2013 г.**Table 2.** Major oxides (wt. %) and trace elements (ppm) of the Ivan Grozny volcanic rocks selected in 2013

Образец	328	330	338	342	Кратер-1	Кратер-2	327	329
Тип образца	Лава	Лава	Купол	Купол	Пепел	Бомба	Бомба	Бомба
Возраст	Поздний плейстоцен	Поздний плейстоцен	Голоцен	Голоцен	2012–2013 гг.	2012–2013 гг.	2012–2013 гг.	2012–2013 гг.
<i>РФА (%)</i>								
SiO ₂	58.96	61.42	58.72	58.16	59.54	58.66	59.43	59.01
TiO ₂	0.69	0.65	0.72	0.72	0.69	0.70	0.69	0.71
Al ₂ O ₃	15.77	15.65	15.82	15.66	15.79	15.56	16.05	15.74
FeO	9.09	7.87	8.99	9.42	8.61	9.04	8.67	8.78
MnO	0.16	0.15	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.16
MgO	3.63	3.01	3.64	3.70	3.41	3.52	3.35	3.52
CaO	7.71	6.76	7.74	7.93	7.55	7.16	7.45	7.73
Na ₂ O	2.63	3.08	2.75	2.82	2.89	2.71	2.76	2.93
K ₂ O	0.93	1.14	0.96	0.96	1.03	0.95	1.02	1.05
P ₂ O ₅	0.08	0.05	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08
Сумма	99.65	99.78	99.59	99.62	99.74	98.54	99.65	99.71
<i>ИСП (ppm)</i>								
Be	0.69	0.81	0.76	0.07	0.54	0.13	0.55	0.48
Sc	18.3	20.4	25.1	25.8	20.8	27.3	12.9	24.2
V	231	206	268	246	225	255	201	254
Cr	31.5	18.0	24.1	24.8	26.4	25.1	22.7	44.9
Co	20.5	18.1	22.4	22.1	19.0	21.8	20.4	21.0
Ni	17.9	10.5	13.6	15.3	10.9	11.1	12.7	16.0
Cu	30.3	41.3	28.1	32.1	43.7	47.3	45.1	49.5
Zn	76.5	94.6	82.4	90.9	71.3	81.6	76.1	82.5
Ga	13.2	14.1	14.8	15.6	13.5	14.8	14.1	14.5
As	17.3	19.5	18.9	18.9	17.6	18.6	12.9	19.6
Rb	16.5	21.4	18.3	18.5	17.9	18.8	11.1	19.7
Sr	224	238	246	244	221	239	220	243
Y	20.9	22.1	23.0	22.4	20.8	22.4	19.6	24.2
Zr	78.8	98.3	84.8	85.6	81.3	87.2	83.8	90.9
Nb	0.99	1.13	0.91	0.91	0.91	0.97	0.04	1.18
Mo	2.14	2.21	1.83	2.19	2.11	2.92	0.98	3.59
Cd	0.14	0.24	0.03	0.09	0.03	0.15	0.02	0.10
Sn	2.78	9.25	2.70	2.84	2.81	3.02	2.72	2.94
Sb	0.34	5.66	0.39	0.33	0.28	0.31	0.08	0.37
Te	0.03	0.44	0.03	0.03	<0.01	0.07	0.11	0.07
Cs	1.17	1.27	1.34	1.36	1.30	1.06	0.62	1.43
Ba	191	256	213	203	214	216	179	232
La	4.60	4.78	5.14	4.88	5.06	5.44	4.61	5.52
Ce	11.6	12.6	13.1	12.7	13.2	14.2	11.9	16.4
Pr	1.67	1.76	1.85	1.80	1.79	1.89	1.81	1.95
Nd	7.90	8.03	8.90	8.20	8.59	8.62	8.25	9.36
Sm	2.41	2.34	2.49	2.54	2.45	2.63	2.54	2.84
Eu	0.69	0.58	0.51	0.65	0.78	0.53	0.58	0.82

Таблица 2. Окончание
Table 2. Continued

Gd	3.11	3.27	3.27	3.45	3.24	3.18	3.16	3.70
Tb	0.55	0.51	0.57	0.53	0.53	0.54	0.56	0.60
Dy	3.47	3.45	3.91	3.75	3.57	3.59	3.56	3.92
Ho	0.79	0.81	0.85	0.86	0.82	0.82	0.87	0.84
Er	2.27	2.59	2.59	2.56	2.34	2.36	2.41	2.53
Tm	0.36	0.38	0.40	0.39	0.35	0.40	0.34	0.39
Yb	2.28	2.58	2.70	2.48	2.32	2.57	2.56	2.66
Lu	0.35	0.45	0.42	0.42	0.40	0.41	0.39	0.43
Hf	2.36	3.14	2.41	2.66	2.51	2.59	2.38	2.75
Ta	0.08	0.09	0.10	0.07	0.07	0.07	0.11	0.09
W	0.45	0.59	0.51	0.52	0.69	0.77	0.08	0.70
Tl	0.15	0.06	0.11	0.11	0.12	0.17	0.11	0.16
Bi	0.09	0.11	0.07	0.05	0.06	0.15	0.03	0.08
Th	1.37	1.92	1.51	1.39	1.45	1.48	0.89	1.45
U	0.48	0.67	0.51	0.53	0.50	0.57	0.57	0.55

Таблица 3. Микронзондовые измерения вулканических стекол (мас. %) в пепле извержения вулкана Иван Грозный 2012–2013 гг.

Table 3. The microprobe measurements of volcanic glasses (wt. %) in the ash of the 2012–2013 Ivan Grozny volcano eruption

Образец	Кратер			
SiO ₂	75.87	71.37	75.74	76.70
TiO ₂	0.57	0.42	0.61	0.50
Al ₂ O ₃	11.61	15.43	11.81	11.39
FeO	3.43	2.28	3.10	2.84
MnO	0.07	0.05	0.12	0.15
MgO	0.34	0.21	0.28	0.24
CaO	1.52	3.83	1.59	1.73
Na ₂ O	3.34	4.11	3.60	3.41
K ₂ O	3.16	2.18	3.07	2.87
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.07	0.15

зитов SiO₂ (58.16–61.42 мас. %) с умеренными содержаниями K₂O (0.93–1.14 мас. %) и низкими MgO (3.01–3.7 мас. %). Несколько аномальные содержания некоторых макро- и микроэлементов могут быть объяснены малопредставительной на текущий момент выборкой образцов.

Вариации составов петрогенных окислов, в частности зависимость CaO, Al₂O₃ от содержания SiO₂ (рис. 6, табл. 2, 3), наблюдаемые в вулканических стеклах и в валовой пробе пепла «Кратер-1», свидетельствуют о кристаллизационной дифференциации расплавов и формировании пороодообразующих фенокристаллов. В сравнении с вулканами тыловой зоны (вулкан Богдан Хмельницкий) и фронтальной зоны (вулкан

Баранского) о. Итуруп, вулкан Иван Грозный имеет низкое соотношение некогерентных элементов (например, K₂O, Zr), что отвечает условиям образования магм фронта дуги. Дегидратация флогопита слэба под тылом островной дуги, в отличие от дегидратации амфибола и серпентина под фронтальными вулканами, формирует увеличенные концентрации K, Rb, Ba, Sr (Avdeiko et al., 1991). Тренды дифференциации плейстоцен-голоценовых пород вулкана Иван Грозный по данным валового состава пород и микронзондовых анализов стекол представлены рядом от андезитов до риолитов. По содержаниям Al₂O₃, K₂O и MgO относительно SiO₂ фигуративные точки образцов не образуют единых трендов, наблюдаемых в случае кристаллизации основных пороодообразующих минералов (рис. 6). Полученные данные свидетельствуют об усложненных условиях кристаллизации и гетерогенности магм на вул. Иван Грозный. Периодическое смешение магм с кумулятами было ранее изучено на вулкане Баранского (Биндеман, 1997), где наблюдались вариации магм от андезибазальтов до риодацитов. Нужно отметить, что вулканы Иван Грозный и Баранского находятся в схожей геодинамической обстановке хребта Грозного, трассирующего фронтальную часть Курильской островной дуги (рис. 1).

Распределение редких элементов (рис. 7), в частности Nb–Ta минимум и относительный максимум по Sr, наблюдаемые на спайдер-диаграмме, свидетельствуют о типично субдукционном происхождении магм вулкана Иван Грозный.

Полученные результаты мы сравнили с данными о гомодромной эволюции андезибазальтов до риодацитов с неоднородностями

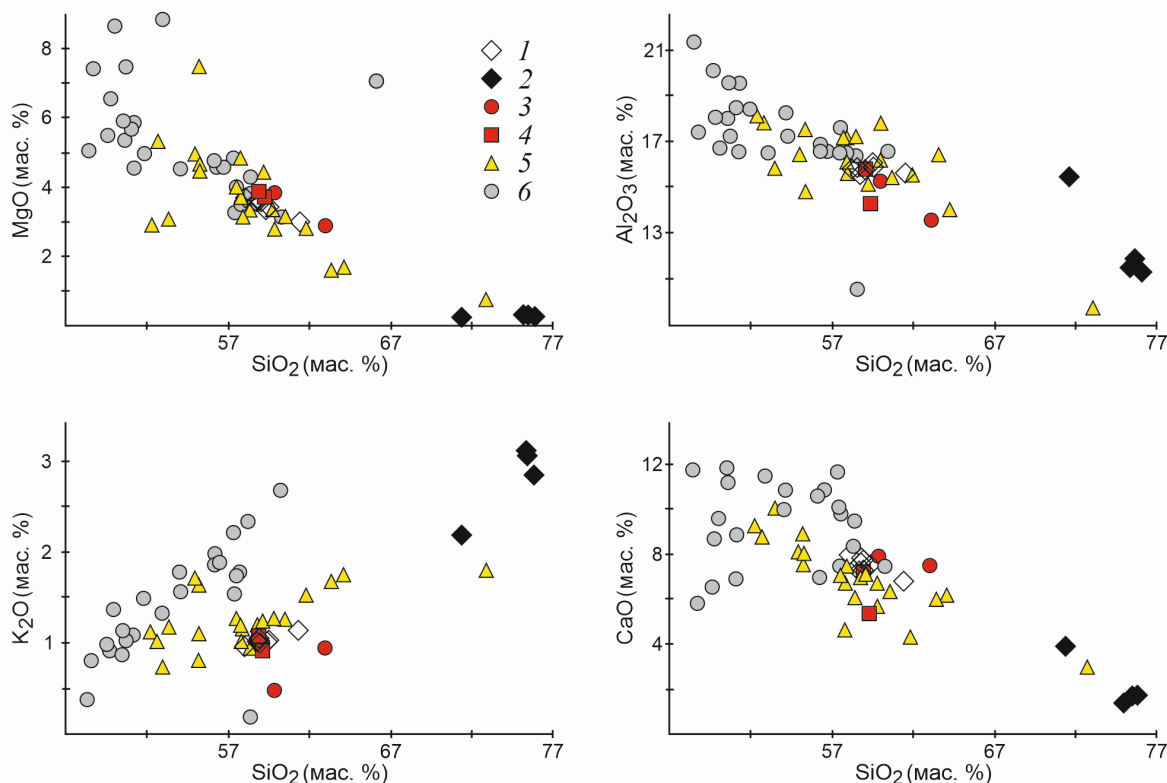


Рис. 6. Диаграммы Харкера (Harker, 1909) для пород вулкана Иван Грозный: 1 — данные валовых измерений пород вулкана Иван Грозный, отобранных в 2013 г.; 2 — данные микрозондовых измерений вулканического стекла в пепле извержения вулкана Иван Грозный 2012–2013 гг.; 3 — валовые составы пород вулкана Иван Грозный (Абдурахманов и др., 1990); 4 — валовые составы пород вулкана Иван Грозный (Федорченко и др., 1989); 5 — валовые составы пород вулкана Баранского (Биндеман, 1997); 6 — валовые составы пород вулкана Богдан Хмельницкий (Ларин и др., 1996).

Fig. 6. Harker diagrams (Harker, 1909) for rocks of Ivan Grozny volcano: 1 — data of bulk measurements of rocks of Ivan Grozny volcano sampled in 2013; 2 — data of microprobe measurements of volcanic glass in the ash of the 2012–2013 Ivan Grozny volcano eruption; 3 — bulk composition of rocks of Ivan Grozny volcano (Abdurakhmanov et al., 1990); 4 — bulk composition of the rocks of the Ivan Grozny volcano (Fedorchenko et al., 1989); 5 — bulk composition of rocks of Baransky volcano (Bindeman, 1997); 6 — bulk composition of rocks of Bogdan Khmel'nitsky volcano (Larin et al., 1996).

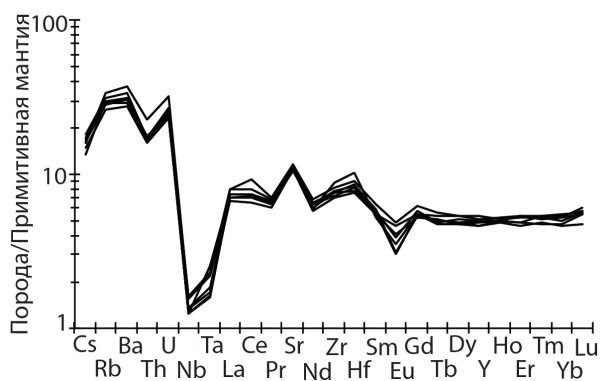


Рис. 7. Редкие элементы образцов вулкана Иван Грозный, нормированные к примитивной мантии (Sun, McDonough, 1989). Значения содержаний редких элементов даны в табл. 2.

Fig. 7. Rare elements of samples from Ivan Grozny volcano normalized to the primitive mantle (Sun, McDonough, 1989). The values of rare element contents are given in Table 2.

составов, текстур и неравновесными сочетаниями фенокристаллов в лавах вулкана Баранского (Биндеман, 1997). Близкое расположение активных вулканов Баранского и Иван Грозный во фронтальной части дуги и редкие эксплозии с доминированием резургентного материала делают практически невозможной корреляцию удаленных пеплов этих источников только по валовому химическому составу петрогенных окислов. Полученные данные по соотношениям несовместимых элементов, в том числе K_2O (рис. 6) и Rb, Zr, Sr, Ba (рис. 8), явно демонстрируют разные вариации магм вулканов фронтальной зоны Баранского и Иван Грозный, позволяющие предположить разные условия фракционирования, ассимиляции магм в коре. В то время как для вул. Богдан Хмельницкий отмечается примерно одинаковое увеличение несовместимых элементов, в том числе Zr и Rb (рис. 8), что отвечает классической фракционной

ВУЛКАН ИВАН ГРОЗНЫЙ

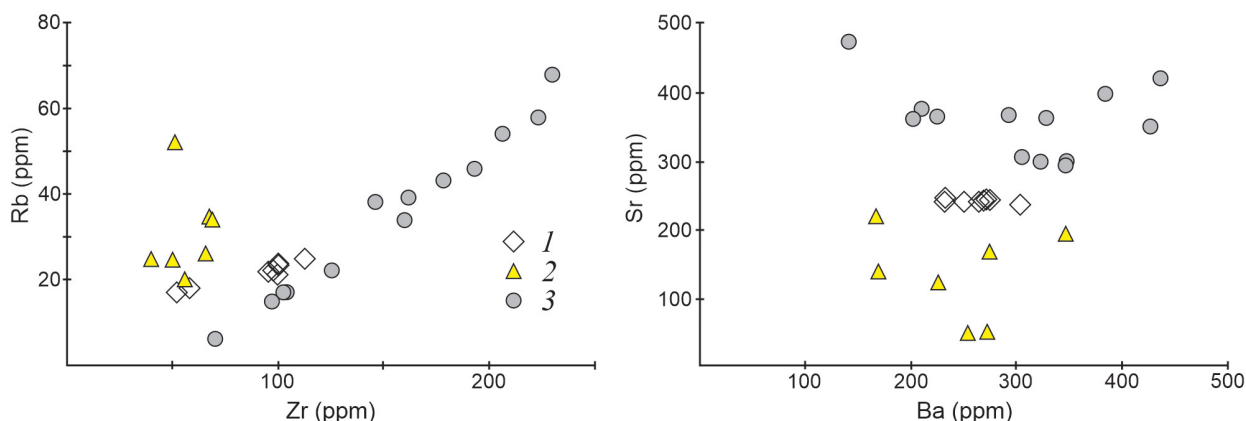


Рис. 8. Соотношения несовместимых элементов валовых составов проб. 1 — данные валовых измерений пород вулкана Иван Грозный, отобранных в 2013 г.; 2 — валовые составы пород вулкана Баранского (Биндеман, 1997); 3 — валовые составы пород вулкана Богдан Хмельницкий (Ларин и др., 1996). Примечание: в некоторых сравниваемых пробах содержание Zr не определялось.

Fig. 8. Ratios of incompatible elements in bulk compositions of samples. 1 — data of bulk measurements of rocks from Ivan Grozny volcano sampled in 2013; 2 — bulk composition of rocks of Baransky volcano (Bindeman, 1997); 3 — bulk composition of rocks of Bogdan Khmel'nitsky volcano (Larin et al., 1996). Note: in some compared samples Zr content was not determined.

дифференциации магм. Для вулкана Иван Грозный характерно увеличение содержания Rb с увеличением Zr и уменьшение Sr с увеличением Ba; для вулкана Баранского напротив — подобных вариаций не наблюдается. Таким образом, соотношения Rb/Zr и Sr/Ba в перспективе могут служить специфическими характеристиками при корреляции удаленных пеплов извержений данных вулканов.

Оценка вулканической опасности эксплозивных извержений вулкана Иван Грозный. После извержения 2012–2013 гг. вулкана Иван Грозный перешел в стационарную стадию сольфатарной активности. Уже к 2014 г. визуально со стороны г. Курильск и ГеоТЭС «Океанская» на вулкане наблюдались лишь незначительные парогазовые выходы из трещины 1989 г. и новообразованного кратера. В последующие годы интенсивность парогазовой активности снижалась, судя по визуальным наблюдениям и спутниковым снимкам Sentinel-2 за 2017–2023 гг. к сегодняшнему дню она стала минимальной. Несмотря на видимое снижение парогазовой активности, извержение вулкана может произойти в любой момент. В зависимости от типа извержения и его мощности, негативные последствия затронут центральную часть о. Итуруп, где расположены все инфраструктурные объекты и населенные пункты, на территории которых проживает около 7000 человек (на 01.01.2023 г. <https://sakhalin.gov.ru/index.php?id=678>).

В практике оценки опасности для действующих вулканов Курило-Камчатской островодужной системы традиционно рассматриваются следующие опасные процессы и явления: лавовые потоки, лахары, пирокластические потоки и

волны, обвальные/обвально-взрывные явления и пеплопады (Базанова и др., 2001; Гирина и др., 2018; Гордеев и др., 2016; Мелекесцев и др., 1987; Озеров и др., 2020; Рыбин и др., 2017; Чибисова и др., 2023). Ввиду того, что большинство перечисленных явлений не характерны для современной активности вулкана Иван Грозный (Абдурахманов и др., 1990; Жарков, 2014) и могут иметь разрушительное воздействие в радиусе нескольких километров от вулкана, где населенных пунктов и инфраструктурных объектов не расположено, в настоящей работе мы ограничимся оценкой опасности, связанной с выпадением пеплов, т.к. на Курильских островах именно пеплопады являются самыми частыми проявлениями активной вулканической деятельности. Особенности распространения пепловых шлейфов зависят от мощности эксплозий, направления и скорости ветра в районе извержения и общей циркуляции воздушных масс, благодаря которой пеплы могут переноситься на тысячи километров. Для о. Итуруп характерна сезонная смена направлений ветра, связанная с циклонической деятельностью (Атлас..., 2009): в холодный период (октябрь–апрель) преобладают северные и северо-западные ветры, в теплый период года преобладают юго-восточные ветры. Согласно метеорологической базе данных (Mastin, 2017) в районе вулкана Иван Грозный до высоты 5 км над уровнем моря в течение года преобладают юго-восточные, восточные и северо-восточные ветры (рис. 9), поэтому при эксплозивных извержениях с небольшой высотой эруптивных туч, характерных для вулкана (Абдурахманов и др., 1990; Жарков, 2014), распространение пепловых шлейфов будет идти преимущественно

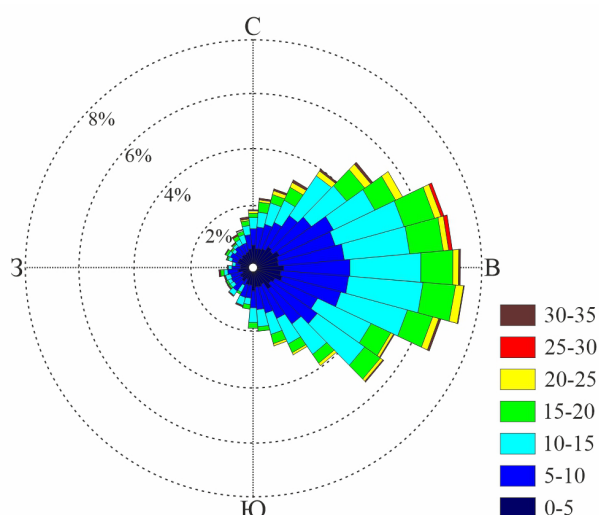


Рис. 9. Направления ветров в районе вулкана Иван Грозный для высоты выбросов 0–5 км над ур. м. по всем сезонам года (Mastin, 2017). Цветами показана скорость ветра в м/с.

Fig. 9. Wind directions in the Ivan Grozny volcano area for emission heights of 0–5 km above sea level for all seasons of the year (Mastin, 2017). Colors show wind speed in m/s.

в северо-западном, западном и юго-западном направлениях. Учитывая, что к северу и западу от вулкана Иван Грозный расположены основные объекты инфраструктуры и населенные пункты острова, в том числе районный центр г. Курильск (24 км севернее вулкана, население на 01.01.2023 г. составляло 2537 человек по данным <https://sakhalin.gov.ru/index.php?id=678>), при эксплозивных извержениях возможны негативные экономические и социальные последствия. Аналогичный ветровой режим и, соответственно, направления распространения пепловых шлейфов характерны для всех сезонов года и высоты выбросов до 24 км над ур. м. (<https://www.sciencebase.gov/catalog/item/58d01411e4b0236b68f52db5>). Выше этого уровня в холодный период года преобладают северо-западные и северо-восточные ветры, для теплого периода характерны западные ветры (Mastin, 2017), поэтому мощные ультраплинианские извержения (VEI 5 и более) с высотой выброса 24–40 км над ур. м. (в историческое время на Курильских островах извержения с VEI 5 и более не зафиксированы, в настоящей работе мы проводим для сравнения) и распространением пепловых шлейфов в восточном направлении могут представлять опасность для действующих международных авиалиний, проходящих вдоль Курильских островов в 80–150 км от вулкана.

В целом, приведенные выше теоретические расчеты направлений распространения пепловых шлейфов вулкана Иван Грозный подтверждаются визуальными наблюдениями и спутниковыми данными 2012–2013 гг. (Жарков, 2014).

При этом необходимо учитывать, что в реальной ситуации на распространение пепловых шлейфов оказывают влияние проходящие циклоны и тайфуны, существенно изменяющие местные метеорологические условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа посвящена изучению активного вулкана Иван Грозный, последнее эксплозивное извержение которого наблюдалось в 2012–2013 гг. Вещественный состав продуктов вулкана, определенный современными аналитическими методами, по валовому составу образцов постройки и пирокластики варьирует от андезитов до дациандезитов (57.20–61.42 мас. % SiO_2) умереннокалиевой серии (0.93–1.14 мас. % K_2O) с низкой магнезиальностью (<5 мас. % MgO). Результаты микронзондовых исследований состава вулканических стекол продуктов извержения 2012–2013 гг. следующие: 71.37–76.7 мас. % SiO_2 , 2.18–3.16 мас. % K_2O , 0.21–0.34 мас. % MgO . В сравнении с вулканами тыловой (вулкан Богдан Хмельницкий) и фронтальной зоны о. Итуруп (вулкан Баранского), породы вулкана Иван Грозный характеризуются низкими значениями соотношений некогерентных элементов (например, K_2O , Zr), что отвечает условиям формирования магм фронта дуги. Распределение редких элементов свидетельствует о типично субдукционном происхождении магм. Для пород вулкана характерно увеличение содержания Rb с увеличением Zr и уменьшение Sr с увеличением Ba.

Относительно слабые эксплозивные извержения, характерные для вулкана Иван Грозный в историческое время, представляют определенную угрозу для населенных пунктов и инфраструктурных объектов о. Итуруп, так как распространение пепловых шлейфов будет преимущественно к северо-западу, западу и юго-западу от вулкана, в сторону наиболее заселенной и экономически освоенной части о. Итуруп. В случае мощных извержений с высотой выброса более 24 км над ур. м. возможны катастрофические последствия для международных авиалиний, проходящих из Северной Америки в Азию вдоль Курильских островов.

Авторы выражают благодарность коллегам, принимавшим участие в полевых исследованиях, аналитических работах и обсуждении полученных результатов, а также анонимным рецензентам и редакционной коллегии журнала, конструктивная критика и замечания которых позволили существенно улучшить статью.

Измерения петрогенных окислов и микроэлементов выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-17-00049, <https://rscf.ru/project/21-17-00049>.

Список литературы [References]

- Абдурахманов А.И., Злобин Т.К., Мархинин Е.К., Тараканов Р.З. Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 г. // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 3–9 [Abdurakhmanov A.I., Zlobin T.K., Markhinin E.K., Tarakanov R.Z. The Ivan Grozny volcano eruption on the Iturup Island in 1989 // Vulkanologiya i seismologiya. 1990. № 4. P. 3–9 (in Russian)].
- Атлас Курильских островов / Под ред. Комедчикова Н.Н. М.– Владивосток: ДИК, 2009. 516 с. [Atlas Kuril'skikh ostrovov / Pod red. Komedchikova N.N. Moscow–Vladivostok: DIK, 2009. 516 p. (in Russian)].
- Базанова Л.И., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю. Потенциальная опасность от извержений Авачинского вулкана // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН. 2001. С. 390–407 [Bazanova L.I., Braytseva O.A., Melekestsev I.V., Puzankov M.Yu. Potential hazards from the Avachinsky volcano eruptions // Geodinamika i vulkanizm Kurilo-Kamchatskoy ostrovoduzhnoy sistemy. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IVGiG DVO RAN. 2001. P. 390–407 (in Russian)].
- Бергаль-Кувикас О.В. Объемы четвертичных вулканитов Курильской островной дуги: анализ пространственного расположения и связь с зоной субдукции // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 2. С. 103–116 [Bergal'-Kuvikas O.V. Volumes of quaternary volcanic material of the Kuril Island Arc: analysis of spatial variations in correlation with subduction zone // Tikhookeanskaya geologiya. 2015. V. 34. № 2. P. 103–116 (in Russian)].
- Биндеман И.Н. Периодическое смещение магм с кумулятами как механизм циклической эволюции вулкана Баранского (о. Итуруп, Курильские острова) // Геохимия. 1997. № 4. С. 380–390 [Bindeman I.N. Recurrent magma and cumulate mixing as a mechanism of the cyclic evolution of Baranskogo volcano, Iturup, Kuril Islands // Geokhimiya. 1997. № 4. P. 380–390 (in Russian)].
- Бычкова Я.В., Синицын М.Ю., Петренко Д.Б. и др. Методические особенности многоэлементного анализа горных пород методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016. № 6. С. 56–63 [Bychkova Ya.V., Sinitsyn M.Yu., Petrenko D.B. et al. Metodicheskiye osobennosti mnogoelementnogo analiza gornyx porod metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy // Vestnik Moskovskogo universiteta. Series 4. Geologiya. 2016. № 6. P. 56–63 (in Russian)].
- Гальцев-Безюк С.Д. Топонимический словарь Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Дальневосточное книжное изд-во, Сахалинское отделение, 1992. 281 с. [Gal'cev-Bezyuk S.D. Toponimicheskij slovar' Sahalinskoj oblasti. Yuzhno-Sahalinsk: Dal'nevostochnoe knizhnoe izd-vo, Sahalinskoe otделение, 1992. 281 p. (in Russian)].
- Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А. и др. Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с. [Girina O.A., Luryan E.A., Sorokin A.A. et al. Comprehensive monitoring of explosive volcanic eruptions of Kamchatka. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, 2018. 192 p. (in Russian)].
- Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 62–77. <https://doi.org/10.7868/S0203030616060043> [Gordeyev E.I., Girina O.A., Luryan E.A. et al. The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // Journal of Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. № 6. P. 382–394. <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>].
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с. [Gorshkov G.S. Volcanism in the Kurile Island Arc. Moscow: Nauka, 1967. 287 p. (in Russian)].
- Горшков Г.С. Действующие вулканы Курильской островной дуги // Труды Лаборатории вулканологии. 1958. Вып. 13: Молодой вулканизм. С. 5–70 [Gorshkov G.S. Dejstvuyushchie vulkany Kuril'skoj ostrovnoj dugi // Trudy Laboratorii vulkanologii. 1958. Vyp. 13: Molodoj vulkanizm. P. 5–70 (in Russian)].
- Горшков Г.С. Хронология извержений вулканов Курильской гряды (1713–1952 гг.) // Труды Лаборатории вулканологии. 1954. Вып. 8. С. 58–99 [Gorshkov G.S. Hronologiya izverzhenij vulkanov Kuril'skoj gryady (1713–1952 gg.) // Trudy Laboratorii vulkanologii. 1954. Vyp. 8. P. 58–99 (in Russian)].
- Жарков Р.В. Вулканические формы рельефа хребта Грозный (остров Итуруп, Курильские острова) // Сборник материалов XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН «Геоморфология и картография», г. Саратов, 17–20 сентября 2013 г. Саратов: Издательство СарГУ, 2013. С. 383–386 [Zharkov R.V. Volcanic landforms of the Grozny Ridge (Iturup Island, Kuril Islands) // Sbornik materialov XXXIII Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN «Geomorfologiya i kartografiya», g. Saratov, 17–20 sentyabrya 2013 g. Saratov: Izdatel'stvo SarGU, 2013. P. 383–386 (in Russian)].
- Жарков Р.В. Современная сольфатарно-гидротермальная деятельность вулканов хребта Грозный (о. Итуруп, Курильские острова) // Сборник материалов IV Сахалинской молодежной научной школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз», г. Южно-Сахалинск, 2–5 июня 2009 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010. С. 191–197 [Zharkov R.V. Modern solfataric-hydrothermal activity of volcanoes of the Grozny Ridge (Iturup, Kuril Islands) // Sbornik materialov IV Sakhalinskoj molodezhnoy nauchnoy shkoly «Prirodnyye katastrofy: izucheniye, monitoring, prognoz», g. Yuzhno-Sakhalinsk, 2–5 iyunya 2009 g. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, 2010. P. 191–197 (in Russian)].
- Жарков Р.В. Термальные источники Южных Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2014. 378 с. [Zharkov R.V. Thermal springs of the South Kuril Islands. Vladivostok: Dalnauka, 2014. 378 p. (in Russian)].
- Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012–2013 годах (остров

- Итуруп, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2013. № 3. С. 39–43 [Zharkov R.V., Kozlov D.N. Explosive eruption of Ivan Grozny volcano in 2012–2013 (the Iturup Island of the Kurile Islands) // Vestnik DVO RAN. 2013. № 3. P. 39–43 (in Russian)].
- Знаменский В.С., Никитина И.Б. Гидротермы центральной части острова Итуруп (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 44–65 [Znamenskiy V.S., Nikitina I.B. Hydrotherms of the central part of Iturup Island (Kuril Islands) // Vulkanologiya i seysmologiya. 1985. № 5. P. 44–65 (in Russian)].
- Корсунская Г.В. Курильская островная дуга (физико-географический очерк). М.: Государственное изд-во географической литературы, 1958. 224 с. [Korsunskaya G.V. Kuril'skaya ostrovnaya duga (fiziko-geograficheskij ocherk). Moscow: Gosudarstvennoe izd-vo geograficheskoy literatury, 1958. 224 (in Russian)]
- Ларин Н.В., Биндеман И.Н., Симакин А.Г. Петрология вулкана Богдан Хмельницкий (о-в Итуруп, Курильские острова): модель процессов фракционной дифференциации–смешения в магматической камере // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 28–41 [Larin N.V., Bindeman I.N., Simakin A.G. Petrology of Bogdan Khmel'nitskii volcano on Iturup Island, Kurils: a model of fractional differentiation and mixing in a magma chamber // Vulkanologiya i seysmologiya. 1996. № 5. P. 28–41 (in Russian)].
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по тephрохронологическим данным) // Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 3–18 [Melekestsev I.V., Braytseva O.A., Ponomareva V.V. Dynamics of activity of the Mutnovsky and Gorely volcanoes in the Holocene and volcanic danger to the surrounding areas (according to tephrochronological data) // Vulkanologiya i seysmologiya. 1987. № 3. P. 3–18 (in Russian)].
- Методика количественного химического анализа. Определение примесных элементов в образцах Be, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, La и других РЗЭ, Hf, Ta, W, Re, Os, Pb, Th и U, а также в образцах их оксидов и солей методом ИМП-МС (Методика НСАМ № 501-МС) // Отраслевая методика III категории точности. М.: РИС «ВИМС». 2011. 36 с. [Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. Opredeleniye primesnykh elementov v obraztsakh Be, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, La i drugikh RZE, Hf, Ta, W, Re, Os, Pb, Th i U, a takzhe v obraztsakh ikh oksidov i soley metodom IMP-MS (Metodika NSAM № 501-MS) // Otrasleyaya metodika III kategorii tochnosti. Moscow: RIS «VIMS». 2011. 36 p. (in Russian)].
- Методика количественного химического анализа. Определение фтора, натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, калия, кальция, скандия, титана, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, стронция, циркония, ниобия в горных породах, рудах и продуктах их переработки рентгено-спектральным флуоресцентным методом (Методика НСАМ № 439-РС) // Отраслевая методика III категории точности. М.: ФГУП «ВИМС». 2010. 26 с. [Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. Opredeleniye flora, natriya, magniya, alyuminiya, kremniya, fosfora, kaliya, kal'tsiya, skandiya, titana, vanadiya, khroma, margantsa, zheleza, kobal'ta, nikelya, strontsiya, tsirkoniya, niobiya v gornyx porodakh, rudakh i produktakh ikh pererabotki rentgeno-spektral'nyum fluorestsentnyum metodom (Metodika NSAM № 439-RS) // Otrasleyaya metodika III kategorii tochnosti. Moscow: RIS «VIMS». 2010. 26 p. (in Russian)].
- Озеров А.Ю., Гирин О.А., Жаринов Н.А. и др. Извержения вулканов северной группы Камчатки в начале XXI века // Вулканология и сейсмология. 2020. № 1. С. 3–19. <https://doi.org/10.31857/S0203030620010058> [Ozerov A.Y., Girina O.A., Zharinov N.A. et al. Eruptions in the northern group of volcanoes, in Kamchatka, during the early 21st Century // Journal of Volcanology and Seismology. 2020. T. 14. № 1. С. 1–17. <https://doi.org/10.1134/S0742046320010054>].
- Полонский А.С. Курилы // Краеведческий бюллетень. Южно-Сахалинск. 1994. Вып. 3. С. 38 [Polonskiy A.S. Kuriles // Kraevedcheskiy byulleten'. Yuzhno-Sakhalinsk. 1994. Vyp. 3. P. 38 (in Russian)].
- Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Гурьянов В.Б. Вулканическая активность на Курильских островах в XXI в. // Вестник ДВО РАН. 2017. № 1. С. 51–61 [Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V., Gur'yanov V.B. Volcanic eruptions in the Kuril Islands during XXI century // Vestnik DVO RAN. 2017. № 1. P. 51–61 (in Russian)].
- Сноу Г. Записки о Курильских островах // Краеведческий бюллетень. Южно-Сахалинск. 1992. Вып. 1. С. 89–127 [Snou G. Notes about the Kuril Islands // Kraevedcheskiy byulleten'. Yuzhno-Sakhalinsk. 1992. Vyp. 1. P. 89–127 (in Russian)].
- Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 239 с. [Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I. Volcanism of the Kuril Island Arc: geology and petrogenesis. Moscow: Nauka, 1989. 239 p. (in Russian)].
- Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Романюк Ф.А. Сахалинская группа реагирования на вулканические извержения (SVERT): 20 лет мониторинга вулканической активности на Курильских островах // Геосистемы переходных зон. 2023. Т. 7. № 4. С. 448–453 <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.4.448-453> [Chibisova M.V., Degterev A.V., Rybin A.V., Romanyuk F.A. Sakhalin Volcanic Eruption Response Team (SVERT): 20 years of monitoring of volcanic activity on the Kuril Islands // Geosistemy perehodnykh zon. 2023. V. 7. № 4. P. 448–453 (in Russian)].
- Avdeiko G.P., Volynets O.N., Antonov A.Yu., Tsvetkov A.A. Kurile island-arc volcanism: structural and petrological aspects // Tectonophysics. 1991. V. 2. № 4. P. 271–287. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90175-R](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90175-R)
- Harker A. The natural history of igneous rocks. London: Methuen & Co. 1909. 379 p.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bulletin of

- the American Meteorological Society. 1996. V. 77. №. 3. P. 437–471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Mastin L.G.* Plots of Wind Patterns of the World's Volcanoes: U.S. Geological Survey data release. 2017. <https://doi.org/10.5066/F7SQ8XKT>
- Siebert L., Simkin T., Kimberly P.* Volcanoes of the World. Berkeley: University of California Press. 2010. 568 p.
- Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society Special Publications. 1989. V. 42. P. 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>

**IVAN GROZNY VOLCANO (ITURUP ISLAND, KURIL ISLANDS):
MATERIAL COMPOSITION OF ERUPTION PRODUCTS AND CURRENT ACTIVITY**

R.V. Zharkov¹, O.V. Bergal-Kuvikas^{2,3}, A.V. Degterev¹, F.A. Romanyuk¹, S.E. Borisovsky³

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 693022; e-mail: rafael_zharkov@mail.ru*

²*Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch, RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

³*Institute of Geology of Ore Deposit, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia, 119017*

Received February 06, 2023; revised May 10, 2024; accepted June 25, 2024

The paper presents summary data on the historical activity of Ivan Grozny volcano (Iturup Island, Kuril Islands), including the results of our own studies of solfatar-hydrothermal and eruptive activity of the volcano since 2004. Using modern analytical methods, we obtained data on the chemical composition of the volcano rocks and pyroclastics of the explosive eruption in 2012–2013. The composition of the volcano rocks varies from andesites to daciandesites of medium potassium series. Pyroclastics of the 2012–2013 eruption corresponds to andesites with medium potassium content in terms of bulk chemical composition. The material composition of glasses according to microprobe data is much more acidic. The obtained values are similar to the geochemical compositions of the products of the 1973 and 1989 eruptions. Taking into account the prevailing wind regime dominating in the central part of Iturup Island, the hazard from ash fall of probable future eruptions of Ivan Grozny volcano was assessed, indicating the predominant spread of ash in the north-western, western and south-western directions.

Keywords: Kuril Islands, Ivan Grozny volcano, pyroclastics, volcanic hazard.