

УДК 551.21

ГОЛОЦЕНОВОЕ ЭКСПЛОЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ НА ПЕРЕШЕЙКЕ ВЕТРОВОЙ (О. ИТУРУП) КАК ИСТОЧНИК МАРКИРУЮЩЕГО ГОРИЗОНТА ТЕФРЫ (~2000 ЛЕТ НАЗАД) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

© 2023 г. О. В. Бергаль-Кувикас^{1,*}, С. З. Смирнов², А. Р. Агатова², А. В. Дегтерев^{1,3},
Н. Г. Разжигаева^{1,4}, Т. К. Пинегина¹, М. В. Портнягин⁵, Н. С. Карманов², Т. Ю. Тимина²

Представлено академиком РАН Е.И. Гордеевым 27.03.2023 г.

Поступило 27.03.2023 г.

После доработки 28.03.2023 г.

Принято к публикации 28.03.2023 г.

Результаты геохимического исследования пирокластического материала и радиоуглеродного датирования обугленных растительных остатков из разреза голоценовых отложений “Турам”, расположенного вблизи перешейка Ветрового на о. Итуруп, показывают, что около 2000 лет назад на перешейке произошло эксплозивное извержение с VEI 4–5. На основании геохимического сходства и близости возрастов сделан вывод о том, что это извержение является вероятным источником тефры маркирующего горизонта СКг на островах Итуруп, Уруп, Симушир, Расшуа и Матуа Курильской островной дуги (КОД). Представленные данные являются основанием для пересмотра вулканической опасности о. Итуруп.

Ключевые слова: вулканопасность, тефра, голоцен, геохимия, вулканическое стекло

DOI: 10.31857/S2686739723600601, **EDN:** RZOWNQ

ВВЕДЕНИЕ

Крупные эксплозивные извержения, сопровождающиеся возникновением кальдер и мощных толщ пирокластических отложений, оказывают существенное влияние на климат и создают угрозу для человеческой цивилизации и животного мира. В подавляющем большинстве случаев центры таких извержений приурочены к зонам субдукции и расположены на активных континентальных окраинах и вулканических дугах [1]. По сравнению с извержениями меньшей мощно-

сти, не сопровождающимися перестройкой рельефа и выбросом большого количества вулканического материала, крупные извержения происходят значительно реже. Однако катастрофический характер последствий требует уточнения периодичности таких событий, особенно на ближайшем к современности хронологическом отрезке.

В пределах Курильской островной дуги (КОД) насчитывается около 20 эруптивных центров, появившихся в конце плейстоцена и в голоцене [2, 3], их формирование сопровождалось взрывами большой мощности и образованием кальдер. Они расположены практически на всех островах, но наибольшее количество сосредоточено в самой населенной южной части островной дуги, особенно на о. Итуруп. В конце плейстоцена и начале голоцена на этом острове произошло как минимум 5 мощных эксплозивных событий, в результате которых образовались 4 крупные кальдеры обрушения (Медвежья, Цирк, Урбич, Львиная Пасть) и мощная толща пемзовых туфов на перешейке Ветровом [1] (рис. 1 а).

В ходе региональных тефростратиграфических исследований 2007–2008 гг. в почвенно-пирокластических разрезах на островах Уруп, Чирпой, Симушир, Ушишир, Расшуа и Матуа был обнаружен горизонт кислой тефры (~74–79 SiO₂ мас. %,

¹ Институт вулканологии и сейсмологии
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия

³ Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Южно-Сахалинск, Россия

⁴ Тихоокеанский институт географии Дальневосточного
отделения Российской академии наук, Владивосток,
Россия

⁵ GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel,
Germany

*E-mail: kuvikas@mail.ru

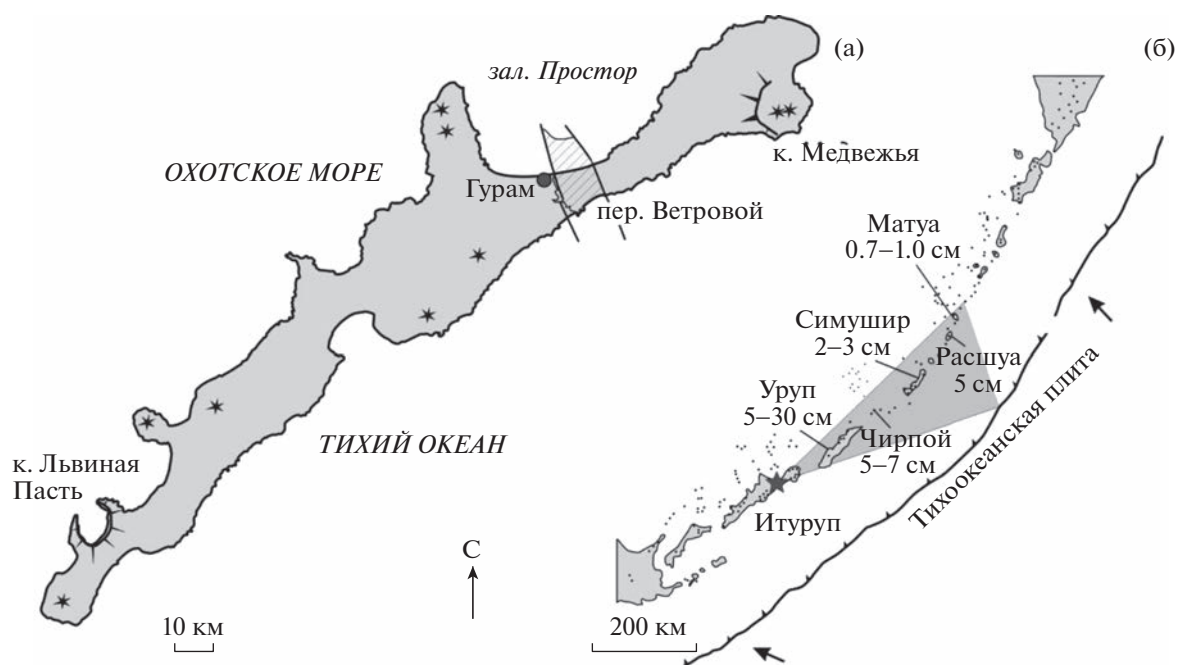


Рис. 1. Расположение перешейка Ветровой и разреза Гурам на о. Итуруп (а), звездочками показаны активные вулканы, заштрихована площадь распространения пемз плейстоценового извержения на перешейке Ветровой ~20 000 л.н. по [9]; реконструкция предполагаемого сектора рассеивания тефры (серый треугольник) извержения, произошедшего ~2100–2000 л.н. в районе перешейка Ветровой в центральной и южной частях Курильской островной дуги (б), под названиями островов указаны мощности слоя СКг по опубликованным данным [4–6, 18]; линия с штрихами — ось Курило-Камчатского глубоководного желоба; стрелки — направление движения Тихоокеанской плиты.

~1.4–1.8 K₂O мас. %), получивший индекс СКг. Время формирования тефры установлено по радиоуглеродным (¹⁴C) датам подстилающих органических отложений и укладывается в интервал около 2490–2100 лет назад (рис. 1 б) [4–6]. Мощность горизонта уменьшается в северо-восточном направлении (рис. 1 б). Это позволило предположить, что потенциальный источник извержения мог находиться на о. Итуруп [4, 5], а ось изопакит имела преимущественно северо-восточное направление (Аз. между 49 и 63°) (рис. 1 б). Находка этого горизонта предполагает, что извержения кислых магм достаточной большой мощности происходили на южных островах КОД не только на рубеже плейстоцена и голоцена, но и в последние несколько тысяч лет. Это определяет необходимость детального изучения центров мощного эксплозивного вулканизма в южной, наиболее населенной части КОД, определения масштабов их извержений и характера распространения пирокластического материала.

Труднодоступность и сложные условия изучения проявлений мощных эксплозивных извержений на Курильских островах делают практически невозможным детальное картирование эруптивных центров и связанных с ними пирокластических толщ, что не дает возможности оценить масштабы извержений, произошедших в прошлом.

Альтернативным способом получения информации об этих событиях является изучение прослоев тефры в осадочных отложениях островной и континентальной суши, морских бассейнах и материковых льдах посредством корреляции их составов вблизи и на значительном удалении от центров извержений [7, 8].

ПЕМЗЫ ПЕРЕШЕЙКА ВЕТРОВОГО И РАЗРЕЗА ГУРАМ

Пемзовые туфы на перешейке Ветровой представляют огромный интерес, так как, несмотря на большой объем изверженного материала, для этого события неизвестно точное положение эруптивного центра, а время и длительность самого извержения остаются дискуссионными. Пемзовая толща заполняет грабен перешейка Ветровой на о. Итуруп и обнажается в клифах к западу между самим перешейком и горой Широкая, образуя урочище Белые Скалы (рис. 1 а). Со стороны побережья Охотского моря в толщу туфов врезаны два уровня морских террас. По данным Р.Ф. Булгакова [9] подстилающие ее породы наблюдались недалеко от Охотского побережья в северо-западной части распространения пемзовых туфов. Максимальные мощности пирокластики вероятно превышали 260 м. Значительная часть пирокластического материала образует

шлейф на дне залива Простор Охотского моря (рис. 1 а) [10]. По предварительной оценке, объем изверженных пород составляет около 100 км^3 [11]. Состав пирокластики отвечает низко-умеренно-калиевым, умеренно глиноземистым дацитам нормального ряда [12]. Несмотря на большой объем изверженного материала, характерный для кальдерообразующих извержений, отчетливых признаков кальдерной депрессии на острове не установлено. Предполагается, что эруптивный центр расположен в заливе Простор [13], но и это предположение требует дальнейшей проверки.

По данным [9], мощная толща пемзовых туфов сформировалась в интервале между ^{14}C -датами 38500 ± 500 и 5350 ± 50 лет назад, полученными соответственно по лигниту подстилающей почвы и раковинам моллюсков в перекрывающих прибрежно-морских галечников. Термолюминесцентным методом возраст самих пемз оценен в 20000 ± 6000 лет [9]. Таким образом, образование пемзовой толщи на перешейке Ветровом в урочище Белые Скалы произошло не позднее конца позднего плейстоцена.

Высказывалось также мнение, что активность этого эруптивного центра могла проявляться и в голоценовое время около 1000 лет назад [14], но это заключение было сделано на основе датирования осадочных отложений, содержащих вулканогенный материал, а не самого горизонта тефры. Соответственно, идентификация и датировка этих событий требуют дальнейшего уточнения. Таким образом, несмотря на то, что в настоящее время в районе перешейка Ветровой не наблюдаются никаких признаков вулканической активности, есть основание предполагать, что эксплозивные извержения могли происходить здесь в последние несколько тысяч лет.

В ходе экспедиционных работ 2018 г. на о. Итуруп в правом борту безымянного ручья, устье которого расположено в 2.25 км к западу от устья ручья Пемзового и в 9.4 км на запад-юго-запад от перешейка Ветрового, был вскрыт разрез голоценовых отложений, содержащий прослой тефры. Разрез был назван "Гурам" (рис. 2 а). Наиболее мощный (примерно 20-сантиметровый) слой тефры в этом разрезе, состоящий из светло-серого вулканического песка с белыми пемзовыми лапиллями размером до 5 см (описание разреза см. в приложении 1) и залегающий непосредственно на палеопочве, свидетельствует об эксплозивном извержении. По данным радиоуглеродного датирования (см. приложение 2), формирование палеопочвы, подстилающей горизонт тефры, происходило около 7700–2500 лет назад (рис. 2, приложение 2). AMS ^{14}C -датирование сохранившихся в тефре обугленных стеблей бамбучника курильского (*Sasa kurilensis*), погибшего вследствие перекрытия тефрой (рис. 2 б), позволило с большой

точностью установить, что эксплозивное извержение на о. Итуруп в районе перешейка Ветровой произошло около 2115–1995 л.н. (кал). Это событие существенно моложе полученных ранее оценок времени образования мощной толщи пемзовых туфов в урочище Белые Скалы и на перешейке Ветровом в конце позднего плейстоцена и, таким образом, свидетельствуют о еще одном эксплозивном извержении в этом районе в позднеголоценовое время.

Пемзовые лапилли имеют светло-серую и желтовато-серую окраску, максимальные размеры 3–5 см (рис. 2 б). Они содержат около 30% вкрапленников, представленных плагиоклазом, авгитом, гиперстеном, кварцем, магнетитом и ильменитом. Вкрапленники погружены в пузыристую витрофировую основную массу, состоящую преимущественно из бесцветного прозрачного вулканического стекла. По минеральному составу пемзы разреза Гурам полностью соответствуют пемзам перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы.

По результатам исследования валового состава индивидуальных пемзовых лапиллей (детали методики анализа см. в приложении 2) пемзы разреза Гурам отвечают умеренно-калиевым, умеренно-глиноземистым дацитам нормальной щелочности. Стекло основной массы пемз (детали методики анализа см. приложение 2) имеет состав умереннокалиевых риолитов нормальной щелочности, глиноземистость которых варьирует от высокой до умеренной (рис. 3).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКА ПЕМЗ В РАЗРЕЗЕ ГУРАМ

Для установления потенциальных источников пемз, найденных в разрезе Гурам, необходимо провести сравнение их составов с кислыми продуктами эксплозивных извержений вулканов о. Итуруп. Такой состав имеют пемзовые отложения: (1) кальдеры Львиная Пасть, расположенной в 115 км на юго-запад с возрастными извержений 12300 и 13000 кал. л. н. [15], (2) кальдеры Медвежья, в 49 км на северо-восток, (3) перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы, расположенных в непосредственной близости от разреза Гурам (рис. 1).

От стекла основной массы пемз кальдеры Львиная Пасть стекло пемз разреза Гурам отличается более низким содержанием суммы щелочей, главным образом за счет более низкого K_2O , значительно более высоким содержанием FeO при сходном значении MgO и пониженной глиноземистостью (рис. 3, приложение 4). Кроме этого, на рис. 3 и в приложении 4 видно, что валовые составы пемз кальдеры Львиная Пасть значительно отличаются от пемз разреза Гурам в среднем пони-

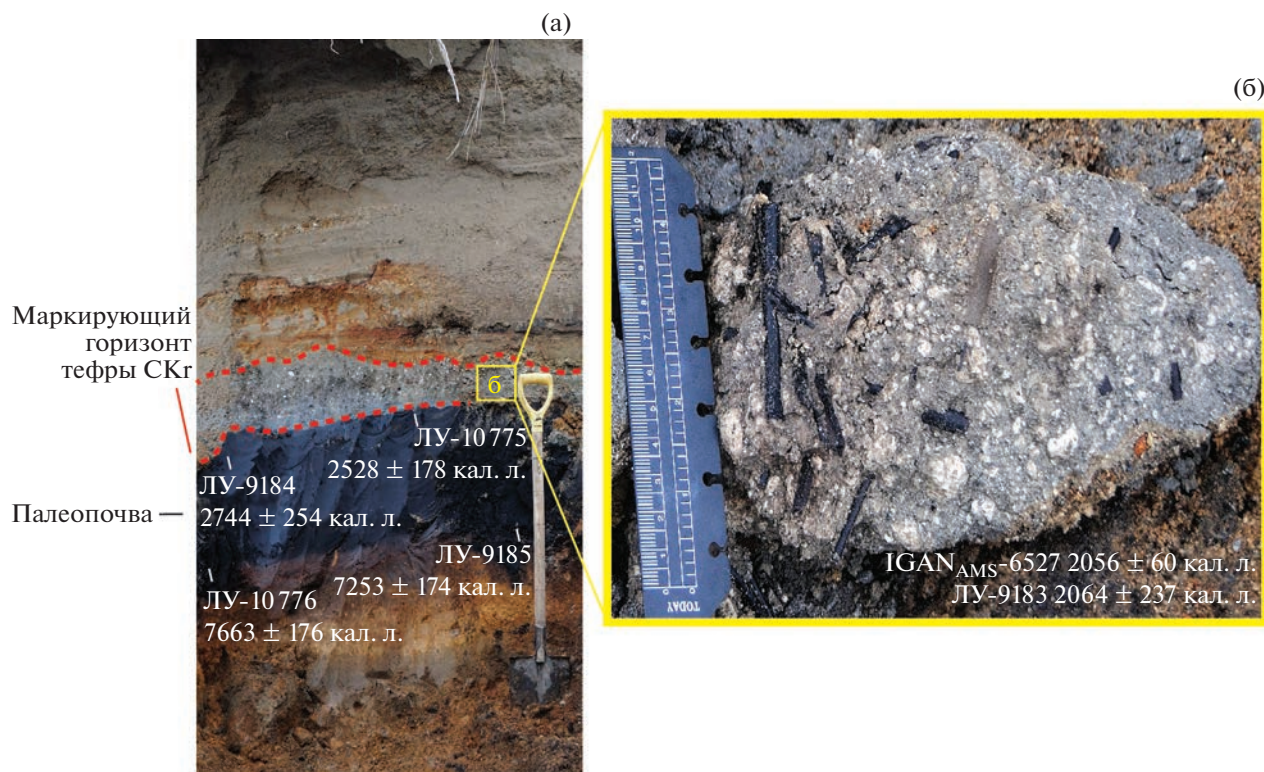


Рис. 2. Положение слоя пирокластики СКг в разрезе Гурам (а); стебли обугленного бамбучника и пемза в слое СКг (б). Приведены калиброванные (2σ) радиоуглеродные даты. Детальное описание разреза Гурам и стратиграфическая колонка представлены в приложении 1, методики радиоуглеродного датирования, ^{14}C -даты и результаты их калибровки — в приложении 2.

женными содержаниями SiO_2 и более высокими содержаниями Al_2O_3 и K_2O . При этом по характеру распределения концентраций рассеянных элементов пемзы Львиной Пасти сходны с пемзами разреза Гурам (рис. 4 и 5), отличаясь лишь значимым Sr-максимумом. Тем не менее, с учетом значимой разницы в концентрациях петрогенных элементов, а также значительно более раннего, по сравнению с интересующим нас хронологическим интервалом, времени извержения в кальдере Львиная Пасть, мы не рассматриваем его в качестве потенциального источника пемз разреза Гурам.

Еще одно проявление кислых пемз находится вблизи вулкана Меньший Брат в кальдере Медвежьей [16] на севере о. Итуруп. От пемз кальдеры Медвежьей изученные пемзы разреза Гурам значительно отличаются по валовому составу (рис. 3, приложение 4). В отличие от пемз разреза Гурам пемзы кальдеры Медвежьей относятся к риолитам (рис. 3, приложение 4), обогащены K_2O , крупноионными литофильными элементами (LILE) и обеднены CaO и Al_2O_3 (рис. 3–4). Стекло основной массы этих пемз ближе по составу к стеклу пемз кальдеры Львиная Пасть (рис. 3, приложение 4).

На рис. 3 и в приложении 4 хорошо видно, что по своим составам пемзовые лапилли разреза Гурам близки к наиболее кремнистым составам пемз перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы (рис. 3, приложение 4). Составы стекла основной массы также пересекаются с составами пемз перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы, отличаясь от них чуть более высокими средними содержаниями SiO_2 и пониженными содержаниями щелочей. При этом составы близки по содержанию калия, но имеют более широкие вариации в сторону пониженных концентраций Na_2O и Al_2O_3 . Стекла основной массы пемз из разреза Гурам обладают немного повышенными содержаниями FeO при близком MgO. Характер распределения нормированных концентраций редких и рассеянных элементов пемз разреза Гурам сходен с пемзами перешейка Ветрового. В спектрах последних иногда проявляется положительная Sr-аномалия, которая отсутствует в составах исследованных пемз Гурама (рис. 4).

Таким образом, учитывая указанные сходства в содержаниях породообразующих и рассеянных элементов и географическое расположение, мы полагаем, что источником тефры разреза Гурам было извержение, произошедшее на перешейке Ветровом

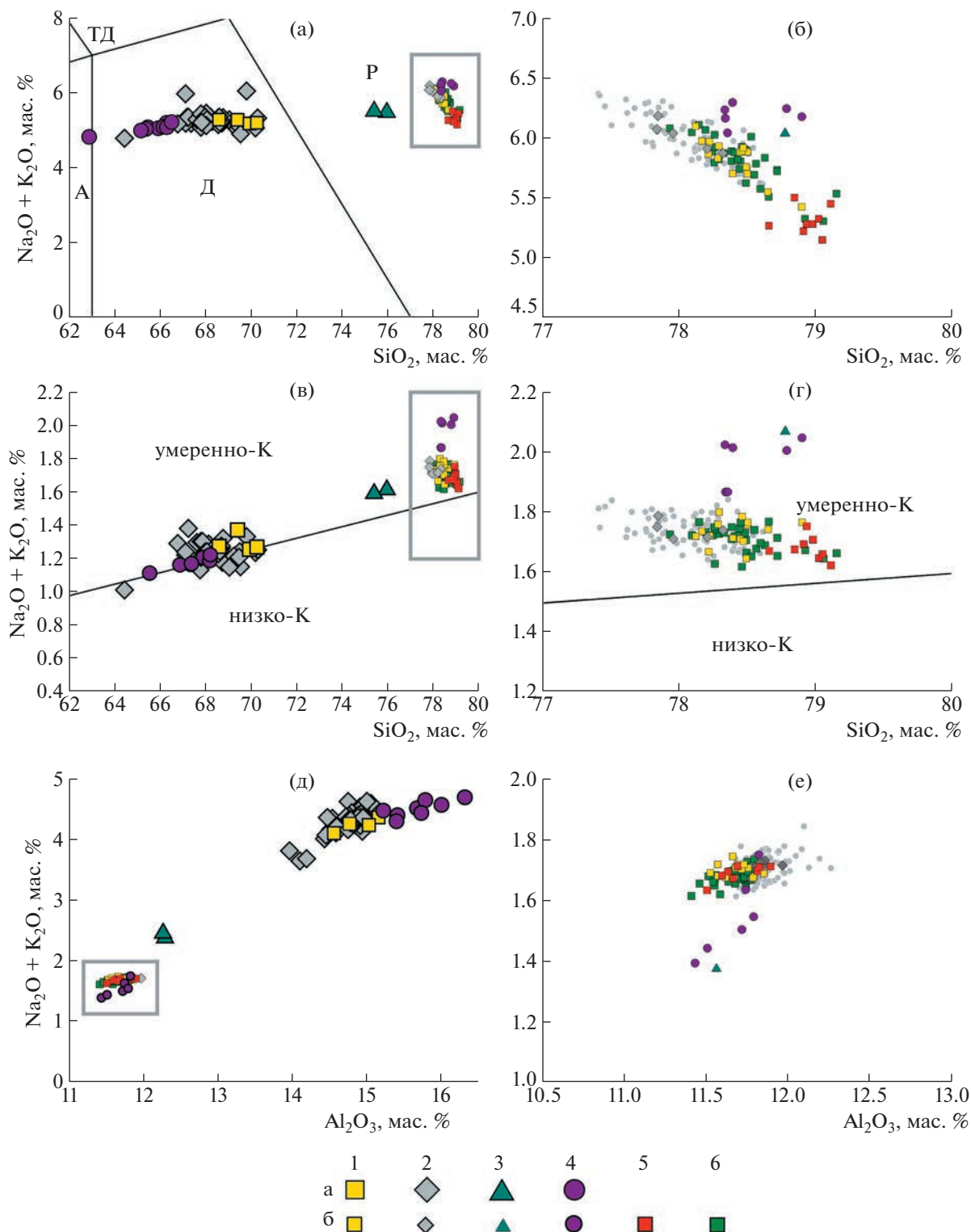


Рис. 3. Составы пемзовых лапиллей и стекол основной массы (а, в, д) и увеличенные участки диаграмм для составов стекол основной массы (б, г, е). Условные обозначения: 1 – разрез Гурам, 2 – пемзовые туфы перешейка Ветрового и Белых Скал [12], 3 – пемзовые туфы кальдеры Медвежьей, 4 – пемзовые туфы кальдеры Львиная Пасть, 5 – пепел СКг с острова Матуа, 6 – пепел СКг с острова Уруп (разрез 3709), а – составы индивидуальных пемзовых лапиллей, б – составы стекол основной массы пемзовых лапиллей и пепловых частиц (для стекол перешейка Ветрового и кальдеры Львиная Пасть приведены средние значения). Серыми кружками показаны весь диапазон составов стекла основной массы пемз перешейка Ветрового и Белых Скал. А – андезит, Д – дацит, Р – риолит, ТД – трахидацит. Дополнительные диаграммы см. приложение 4.

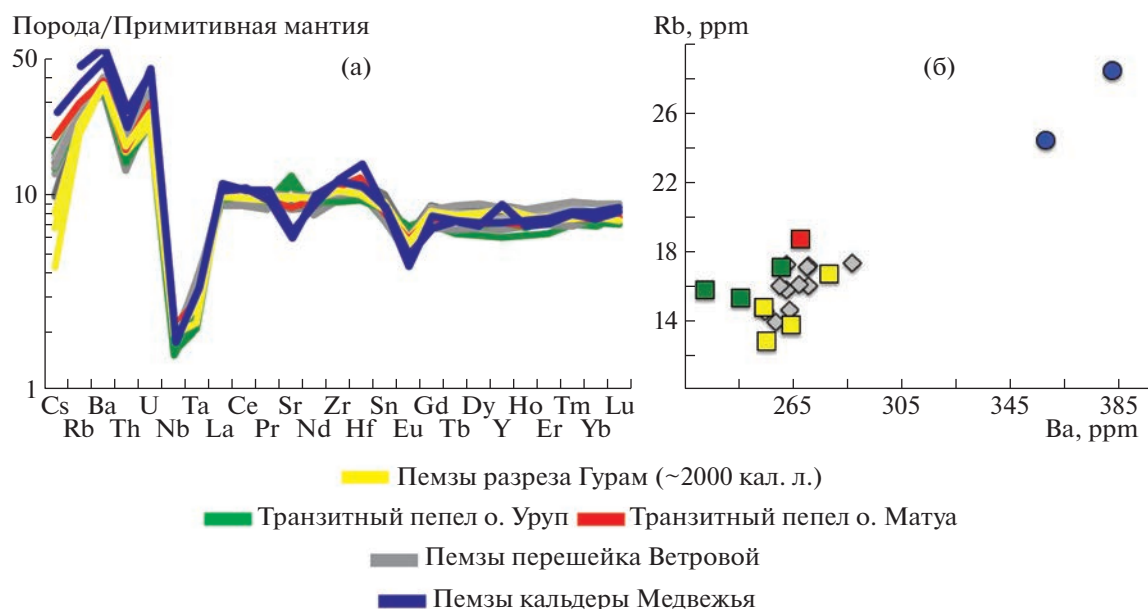


Рис. 4. Распределения содержаний редких и рассеянных элементов, нормированных на состав примитивной мантии по [17], в валовых составах пемзовых лапилли разреза Гурам и перешейка Ветрового в сравнении с транзитными пеплами горизонта СКг о. Матуа и о. Уруп. Методика измерений редких элементов методом ИСП МС приведена в приложении 2, значения измерений в приложении 3.

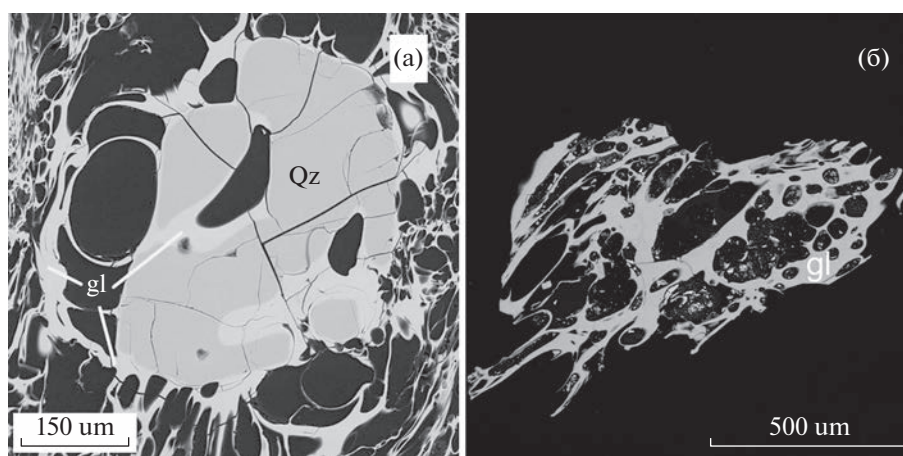


Рис. 5. Пузыристое строение стекла основной массы вокруг вкрапленника кварца пемзы из разреза Гурам (а) и стекловатой пепловой частицы из торфяника на о. Уруп (б, обр. 11/3709). Изображения получены на сканирующем электронном микроскопе “TESCAN” MIRA 3LMU в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE).

и не связанное с активностью кальдер Медвежья и Львиная Пасть.

МАРКИРУЮЩИЙ ГОРИЗОНТ ТЕФРЫ СКг НА ОСТРОВАХ КОД

Распространенность пепла СКг на значительном расстоянии позволяет использовать его в качестве маркирующего горизонта при изучении голоценовых осадочных пород КОД. Радиоуглеродные даты, полученные ранее разными исследова-

телями по подстилающим органогенным отложениям на островах Уруп, Чирпой и Матуа, показывают, что горизонт СКг образовался около 2490–2100 л. н. (кал.) [4–6, 18].

Ближние значения возрастов горизонта СКг на этих островах (около 2490–2100 л. н.) и тефры в разрезе Гурам на о. Итуруп (около 2100–2000 л. н.) позволяют предположить их возможную генетическую связь. В связи с этим было проведено изучение составов стекол пепловых частиц и валовых составов пеплов из горизонтов СКг в отложениях

островов Матуа и Уруп (рис. 2 б). На острове Матуа горизонт СКг был опробован в разрезе почвенно-пирокластических отложений в его юго-восточной части [18]. Пепловые горизонты на острове Уруп, которые также отнесены к слою СКг, были опробованы в разрезах двух торфяников на полуострове Ван дер Линда [5]. На острове Матуа возраст погребенной пеплом почвы составляет около 2100 л. н. [18], на острове Уруп время формирования опробованных пирокластических горизонтов определяют по ^{14}C -датам подстилающих слоев торфа интервалом 2490–2100 л. н. [5]. В образцах из описанных выше горизонтов были обнаружены частицы пузыристых однородных стекол, похожих на стекло основной массы пемз разреза Гурам и содержащих кристаллы плагиоклаза, ортопироксена, клинопироксена, кварца и магнетита (рис. 5). Важно отметить, что в ядерных частях кристаллов плагиоклаза из частиц тефры с о. Уруп часто встречаются ассоциации стекловатых расплавных и существенно газовых флюидных включений, которые типичны для плагиоклаза пемз разреза Гурам и более древних пемз из толщи перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы [12].

На рис. 3 видно, что стекла пепловых частиц горизонтов тефры СКг с о. Уруп и Матуа имеют составы, относящиеся к умеренно-калиевым риолитам. При этом составы стекол пепловых частиц с о. Уруп и наиболее близки к составам стекол разреза Гурам, а у тефры с острова Матуа отличаются немного повышенным содержанием SiO_2 и пониженным — Na_2O при аналогичных с Гурамом содержаниях Al_2O_3 , CaO , K_2O , FeO и MgO . Содержания редких элементов в валовых составах пеплов из горизонта СКг островов Уруп и Матуа и пемз разреза Гурам демонстрируют похожий характер распределения редких и рассеянных элементов (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Остров Итуруп в конце плейстоцена и в начале голоцена стал ареной мощного эксплозивного вулканизма, сопровождавшегося образованием кальдер и мощных толщ пирокластических отложений кислого состава. Извержение, произошедшее в позднем плейстоцене в районе современного перешейка Ветрового, было одним из наиболее мощных вулканических событий [2, 12]. Однако следов, которые свидетельствовали бы о существенной вулканической активности в позднем голоцене и настоящее время в этой части острова до сих пор обнаружено не было.

Результаты минералого-геохимического анализа пемз разреза Гурам показывают, что их происхождение связано с магмой, аналогичной по минеральному и химическому составу магме,

сформировавшей пемзовую толщу перешейка Ветрового и урочища Белые Скалы. Небольшие отличия в составах стекол основной массы пемз Гурама и перешейка Ветровой могут быть объяснены процессами кристаллизационной дифференциации в малоглубинном очаге. В работе [12] было показано, что эволюция состава расплава очага, питавшего извержение перешейка Ветрового, была обусловлена преимущественно кристаллизацией плагиоклаза, состав которого варьировал от основного до среднего, и в меньшей степени Fe—Ti-оксидных минералов. Образование кварца связано лишь с самыми поздними этапами кристаллизации, непосредственно предшествовавшими извержению. Эти особенности объясняют незначительный рост содержаний кремнезема и уменьшение концентраций глинозема и щелочных металлов в расплавах, которые отличают составы стекол пемз Гурама от пемз перешейка Ветрового и Белых Скал. Таким образом, наши данные позволяют сделать заключение, что пепловые частицы горизонта СКг на островах Уруп и Матуа представляют тефру извержения произошедшего в районе перешейка Ветрового, зафиксированного в разрезе Гурам.

Результаты датирования наиболее раннего слоя пирокластики и подстилающих его отложений в разрезе Гурам дают основание говорить, что эруптивная активность, приведшая к аккумуляции тефры, началась не позднее 2100–2000 л.н. Оценка мощности извержения, приведшего к образованию горизонта СКг, на сегодняшний день затруднена из-за неопределенности в оценке площади рассеивания тефры. Однако, если принять, что изопакиты имеют форму эллипсов, оси которых ориентированы в направлении биссектрисы области, показанной на рис. 1 б, можно рассчитать минимальный объем извержения, опираясь на мощность тефры СКг на различных островах. При этом максимальные, из доступных для измерения, размеры будет иметь изопакита 1 см, удаленный край которой находится в районе о. Матуа. Используя методику [19], минимальный объем извержения по этой изопаките можно оценить около $1.5 \times 10^9 \text{ м}^3$. Эта величина может быть в 2–5 раз меньше оценок, более точно учитывающих форму изопакит и закономерное утонение мощности при удалении от центра извержения [19]. Полученный объем отвечает плинианскому извержению с высотой эруптивной колонны около 25 км ($\text{VEI} \sim 4\text{--}5$) по [20]. Из этого следует, что достаточно сильное эксплозивное извержение в районе перешейка Ветрового произошло в недавнем геологическом прошлом, уже после формирования основного объема развитых там пемзово-пирокластических отложений в конце позднего плейстоцена. Это подтверждает сделанное ранее предположение [14] о нескольких импульсах эксплозивной вулканической активности в

рассматриваемой части острова. Полученные данные позволяют однозначно заключить, что наиболее поздние импульсы произошли уже в позднем голоцене. Это заключение поднимает вопрос о пересмотре характера вулканической опасности северной части острова Итуруп и требует учета возможных эксплозивных извержений большой мощности. Сам перешеек Ветровой, по-видимому, следует рассматривать как район активного вулканизма.

Учитывая вышесказанное, мы считаем, что характер распространения и изменения мощностей горизонта СКг свидетельствует о распространении тефры упомянутого извержения в северо-северо-восточном направлении (рис. 1 б), что подтверждает предположение о том, что источником тефры было извержение на острове Итуруп [4, 5]. Полученные нами данные предполагают, что центр этого извержения был расположен в районе перешейка Ветрового.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе охарактеризована первая находка кислой пирокластики позднего голоценового возраста в районе перешейка Ветрового на о. Итуруп, которая дает основание рассматривать его как потенциально вулканопасный район, с эруптивным центром, способным производить эксплозивные извержения большой мощности (VEI 4–5). Полученные результаты свидетельствуют о том, что в районе перешейка Ветровой около 2100–2000 л. н. произошло извержение, ставшее причиной образования горизонта тефры СКг, распространенной в центральной части КОД между островами Матуа и Итуруп. Это позволяет использовать горизонт СКг в качестве тефрохронологического и тефростратиграфического маркера для островов центральной части КОД при построении палеогеографических реконструкций, корреляции разрезов, датировании отложений и форм рельефа.

Наличие признаков активного эксплозивного вулканизма в последние несколько тысяч лет в южной части КОД, близкой к густонаселенным и экономически развитым районам Дальнего Востока России и Японии, требует пересмотра прогнозов вулканической опасности в регионе. Это особенно важно, так как о. Итуруп принадлежит к территориям опережающего развития Дальнего Востока России, что означает расширение хозяйственной деятельности на острове в ближайшие годы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне благодарны А.В. Рыбину (ИМГиГ ДВО РАН), открывшему разрез Гурам в ходе полевых работ 2018 г.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование тефры разреза Гурам выполнено за счет гранта РФФИ 18-05-00819 и в рамках госзадания ИГМ СО РАН и ИМГиГ ДВО РАН. Корреляция удаленных источников извержения на о. Уруп и о. Матуа, анализ редких элементов методом ИСП МС был выполнен за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00049, <https://rscf.ru/project/21-17-00049>.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Приложение 1. Описание разреза “Гурам” с пирокластическими отложениями последнего извержения перешейка Ветровой (сверху-вниз).

Приложение 2. Методики пробоподготовки материала.

Приложение 3. Отклонения международных стандартов электронно-микронного анализа стекла и минералов пепловых частиц и пемз.

Приложение 4. Аналитические данные измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Self S., Blake S.* Consequences of explosive supereruptions // *Elements*. 2008. V. 4. №1. P. 41–46.
2. *Лаверов Н.П., Добрецов Н.Л., Богатиков О.А. и др.* Новейший и современный вулканизм на территории России. 2005. 604 с.
3. *Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др.* Вулканические катастрофы позднего плейстоцена–голоцена на Камчатке и Курильских островах. Часть 1. Типы и классы катастрофических извержений—главных компонентов вулканического катастрофизма // *Вулканология и сейсмология*. 2016. Т. 3. С. 3–21.
4. *Nakagawa M., Ishizuka Y., Hasegawa T., et al.* Preliminary report on volcanological research of KBP 2007–2008 Cruise by Japanese Volcanology group. KBP Report. 2008. <https://doi.org/10.6067/XCV8668F2H>
5. *Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., et al.* Multiproxy record of late Holocene climatic changes and natural hazards from paleolake deposits of Urup Island (Kuril Islands, North-Western Pacific) // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. V. 181. 103916.
6. *Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Arslanov Kh.A., et al.* Coastal dunes of Urup Island (Kuril Islands, North Western Pacific): paleoclimatic and environmental archive // *Geosystems of Transition Zones*. 2022. V. 6. № 2. P. 100–113.
7. *Ponomareva V., Portnyagin M., Davies S.* Tephra without Borders: Far-Reaching Clues into Past Explosive Eruptions // *Front. Earth Sci.* 2015. V. 3. P. 83.
8. *Portnyagin M.V., Ponomareva V.V., Zelenin E.A., et al.* Tephra Kam: geochemical database of glass compositions in tephra and welded tuffs from the Kamchatka volcanic arc (northwestern Pacific) // *Earth System Science Data*. 2020. V. 12 (1). P. 469–486.

9. Булгаков Р.Ф. История развития южных остров Большой Курильской гряды в плейстоцене. Автореф. соиск. дисс. канд. МГУ. 1994. 20 с.
10. Ковтунович П.Ю., Сафронов А.Д., Удодов В.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации 1 : 200 000. Серия Курильская. Лист L-55-XXIII-XXIX. СПб. ВСЕГЕИ. 2002.
11. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатской области в конце плейстоцена-начале голоцена // Доклады АН СССР. 1988. 300. 1. С. 175–180.
12. Smirnov S.Z., Rybin A.V., Kruk N.N., et al. Parental Melts and Magma Storage of a Large-volume Dacite Eruption at Vetrovoy Isthmus (Iturup Island, Southern Kuril Islands): Insights into the Genesis of Subduction-zone Dacites // Journal of Petrology. 2019. V. 60 (7). P. 1349–1370.
13. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волинец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. 1992. 528 с.
14. Афанасьев В.В., Дунаев Н.Н., Горбунов А.О. и др. Проявление кальдерообразующего вулканизма в формировании морского побережья (на примере о. Итуруп Большой Курильской Гряды) // Процессы в геосредах. 2018. (3). С. 990–998.
15. Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Арсланов Х.А. и др. Катастрофические эксплозивные извержения Лъвиной Пасти (о. Итуруп): Стратиграфия и геохронология // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска. 2015. С. 210–214.
16. Marynov Y., Rybin A., Chibisova M., et al. Basaltic volcanism of Medvezhia caldera on the Iturup Island of Kurile Isles: impact of regional tectonics on subduction magmatism // International Geology Review. 2023. V. 65 (2). P. 179–199.
17. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society, London, Special Publications. 1989. V. 42. 1. P. 313–345.
18. Дегтерев А.В. Голоценовая тephра острова Матуа (Центральные Курильские острова): идентификация и состав транзитных пеплов // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2013. V. 3. 169. С. 32–38.
19. Legros F. Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach // Journal of volcanology and geothermal research. 2000. V. 96. P. 25–32.
20. Newhall C.G., Self S. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism // Journal of Geophysical Research. 1982. V. 87. P. 1231–1238.

HOLOCENE EXPLOSIVE ERUPTION ON THE VETROVOY ISTHMUS (ITURUP ISLAND) AS A SOURCE OF THE 2000 cal BP MARKER TEPHRA LAYER IN THE CENTRAL KURIL ISLAND ARC

O. V. Bergal-Kuvikas^{a, #}, S. Z. Smirnov^b, A. R. Agatova^b, A. V. Degterev^{a, c}, N. G. Razjigaeva^{a, d}, T. K. Pinegina^a, M. V. Portnyagin^e, N. S. Karmanov^b, and T. Yu. Timina^b

^a Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

^b V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

^c Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

^d Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

^e GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany

[#] E-mail: kuvikas@mail.ru

Presented by Academician of the RAS E.I. Gordeev March 27, 2023

Geochemical study of volcanoclastic material and radiocarbon dating of charred plant debris from Holocene deposits of the Guram site, which is located in vicinity of Vetrovoy Isthmus at Iturup Island, demonstrate that explosive eruption (VEI 4–5) occurred there by 2000 years ago. Geochemical and age similarity with the tephra of marker layer CKr that was distinguished at Iturup, Urup, Simushir, Rasshua, and Matua islands of the Kuril Island Arc led to the conclusion that this eruption is supposedly a source of this tephra. The data presented are proposed as a motivation for revision of volcanic hazard at Iturup Island.

Keywords: volcanic hazard, tephra, Holocene, geochemistry, volcanic glass