

УДК 551.21

ПЕПЕЛ В-Тm КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА БАЙТОУШАНЬ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИМОРЬЯ КАК ВРЕМЕННОЙ МАРКЕР МАЛОГО ОПТИМУМА ГОЛОЦЕНА

© 2020 г. Н. Г. Разжигаева^{1,*}, Л. А. Ганзей¹, Т. А. Гребенникова¹, Л. М. Мохова¹,
Х. А. Арсланов², Ф. Е. Максимов², А. Ю. Петров², член-корреспондент РАН В. Г. Сахно³

Поступило 07.09.2020 г.

После доработки 09.09.2020 г.

Принято к публикации 10.09.2020 г.

Сообщается о первых находках вулканического пепла В-Тm катастрофического извержения вулкана Байтоушань X века (946/947 г. н.э.) в континентальных отложениях Приморья. Пепловый прослой найден в 17 разрезах озерно-болотных отложений в 9 точках наблюдения, как на побережье, так и во внутренних районах Сихотэ-Алиня. Идентификация вулканического источника проведена на основе изучения макроэлементного состава вулканического стекла. Для возрастной привязки использованы данные радиоуглеродного датирования. Анализируется распределение тефры, изменение гранулометрического состава в зависимости от удаленности от источника. Проведен сравнительный анализ состава вулканического стекла с данными по пирокластике проксимальной зоны и результатами изучения дистальной тефры. Доказывается, что пепловый прослой в Приморье был образован в заключительную фазу извержения, исключение составляет побережье бух. Кит и Шкотовское плато, где найдено стекло риолитового состава, отвечающее максимальной фазе в начале извержения. При реконструкции развития природной среды пепел используется, как временной маркер малого оптимума голоцена, позволяющий надежно сопоставлять данные по разрезам, расположенным на побережье и в горах, уточнять хронологию палеогеографических событий исторического времени и выполнять межрегиональные корреляции.

Ключевые слова: вулкан Байтоушань, кальдерообразующее извержение, тефра, голоцен, радиоуглеродное датирование, юг Дальнего Востока

DOI: 10.31857/S268673972010014X

Извержение вулкан Байтоушань (Пектусан), расположенного на границе КНР и КНДР, X века является одним из крупнейших в мире (VEI $\approx$ 7) за последние 2 тысячи лет. Это извержение обычно называют “тысячелетним” [5, 7, 10, 11, 13–15]. Нет единого мнения о точной дате события. По данным радиоуглеродного анализа оно произошло в интервале 940–950 гг. [10], 969 ± 20 г. [8], 940–1020 гг. [13]. Согласно варвохронологии отложений маарового озера Сихайлонгван, расположенного в 125 км к западу от вулкана, извержение было в 953 ± 37 г. [13], по данным изучения

японских озер, имеющих сезонную слоистость – от 929 до 938 гг. [13] или 933–949 гг. [7]. Наиболее вероятным, видимо, следует считать летописные свидетельства, указывающие на аномальные природные явления в зимний сезон 946/947 гг. [11, 15]. В корейских летописях Когурёса отмечено, что в 946 г. “громы небесного барабана” были слышны в г. Кэсон (Kaesong), на тот момент столице Кореи, в 470 км от вулкана. Японские храмовые летописи (Neungboks Temple History) свидетельствуют, что 3 ноября этого же года в г. Нара, о. Хонсю, в 1070 км к юго-востоку от вулкана, выпал белый пепел, “мягкий, как снег”. 7 февраля 947 г. “барабанные громы” были слышны в г. Киото в 1050 км от вулкана. Близкие даты 946 ± 3 г. н.э. получены на основе радиоуглеродного датирования колец древесины из пирокластических потоков [15].

Извержение было гигантским, его относят к плинианскому типу, эруптивная колонна (высота >25 км) достигла стратосферы [8, 10, 14]. Объем выброшенной пирокластике оценивается $96\text{--}100 \text{ км}^3$

¹ Тихоокеанский институт географии,
Дальневосточное отделение Российской академии наук,
Владивосток, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

³ Дальневосточный геологический институт,
Дальневосточное отделение Российской академии наук,
Владивосток, Россия

*E-mail: nadyar@tigdvo.ru

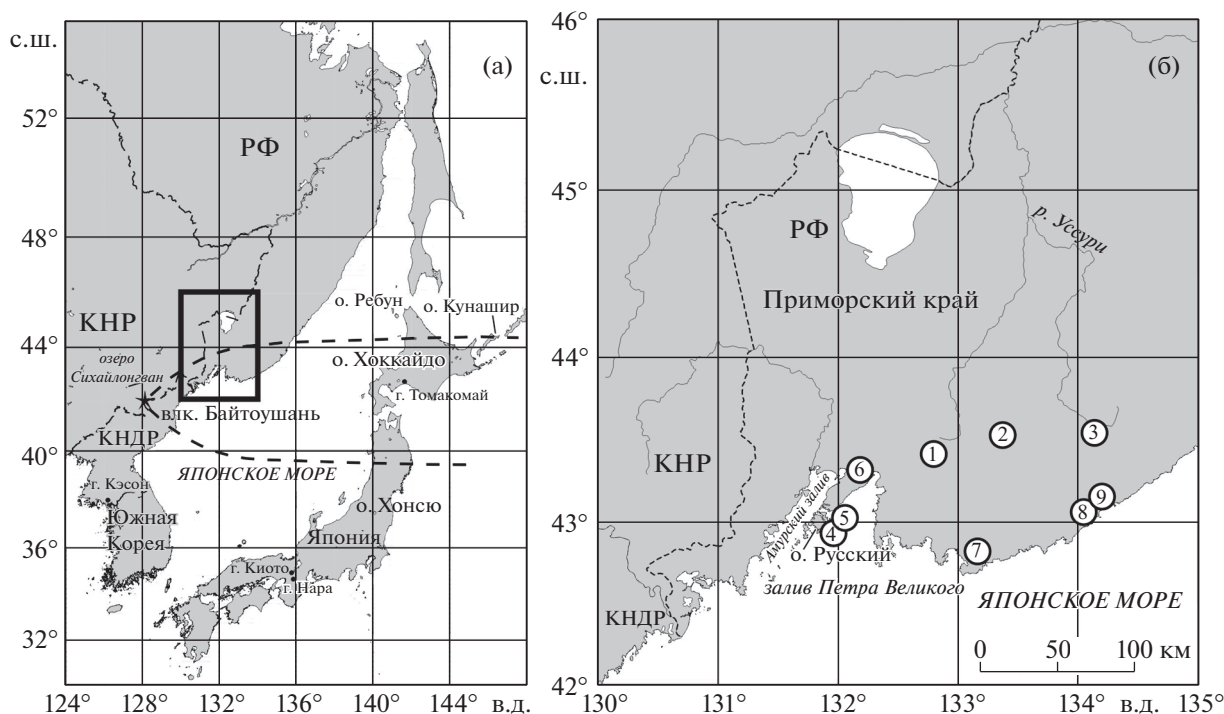


Рис. 1. Схема Япономорского региона с сектором пеплопада катастрофического извержения влк. Байтоушань (а) и местоположение разрезов, где обнаружен вулканический пепел В-Тм (б): 1 – Шкотовское плато, 2 – Сергеевское плато, 3 – урочище Мута, 4 – бух. Спокойная, о. Русский, 5 – бух. Парис, о. Русский, 6 – бух. Муравьиная, 7 – бух. Триозерье, 8 – бух. Заря, 9 – бух. Кит.

[5, 6, 8, 14]; в результате по обрамлению вулканического конуса возникли покровы игнимбритов (мощностью десятки метров), так называемый “каменный лес”, пирокластические потоки распространялись на расстояние до 60 км от кратера (мощность отложений до 100 м). Потоки преимущественно отлагались на восточном склоне вулкана [13]. Образовалась кальдера (размером 5 км), занятая кратерным оз. Тянци (глубина 384 м). Поскольку извержение было зимой, оно вызвало таяние снега и образование многочисленных лаваров, протяженностью до 300 км (при мощности отложений до 10 м) [13]. В стратосфере попало много летучих компонентов и тонкодисперсного пепла, след этого извержения отчетливо запечатлен в разрезе льдов Гренландии [13].

Пеплопад извержения покрыл большую часть акватории Японского моря (мощность слоя до 16 см) [6, 9, 13, 14], север о. Хонсю, о. Хоккайдо, в виде криптотефры найден на о. Ребун [7, 10, 11] и достиг о. Кунашир, Южные Курилы [12] (рис. 1). Пепел “тысячелетнего извержения” влк. Байтоушань вошел в стратиграфические схемы региона, и ему был присвоен индекс В-Тм: В – Байтоушань, Тм – порт Томакомай, о. Хоккайдо, месторасположение стратотипа, где пепел был впервые найден в Японии [9]. Тефра изучена и в районах, прилегающих к вулкану [5, 7, 8, 13, 15].

Своеобразным “белым пятном” остается территория Приморья, которая явно попадала в сектор пеплопада этого извержения. Несмотря на хорошую изученность разрезов голоценовых отложений, прослоев вулканических пеплов здесь не было обнаружено, найдена только криптотефра в прибрежно-морских [4] и шельфовых отложениях залива Петра Великого [1].

Цель настоящего сообщения – сообщить о первых находках вулканического пепла В-Тм в континентальных отложениях Приморья, проанализировать его распределение, состав, провести корреляцию с пирокластикой проксимальной зоны извержения и сравнение с составом дистальной тефры. Как итог, необходимо оценить значение находок тефры В-Тм для реконструкции развития природной среды. Объектами исследования послужили разрезы озерно-болотных отложений и почвенные профили, расположенные на разных гипсометрических отметках от побережья Японского моря до горных плато Центрального Сихотэ-Алиня (рис. 1). Для большей части разрезов сделаны биостратиграфические анализы и получена серия радиоуглеродных датировок. Идентификация источника вулканического пепла проведена на основе макроэлементного состава вулканического стекла (данные нормализованы на 100%).

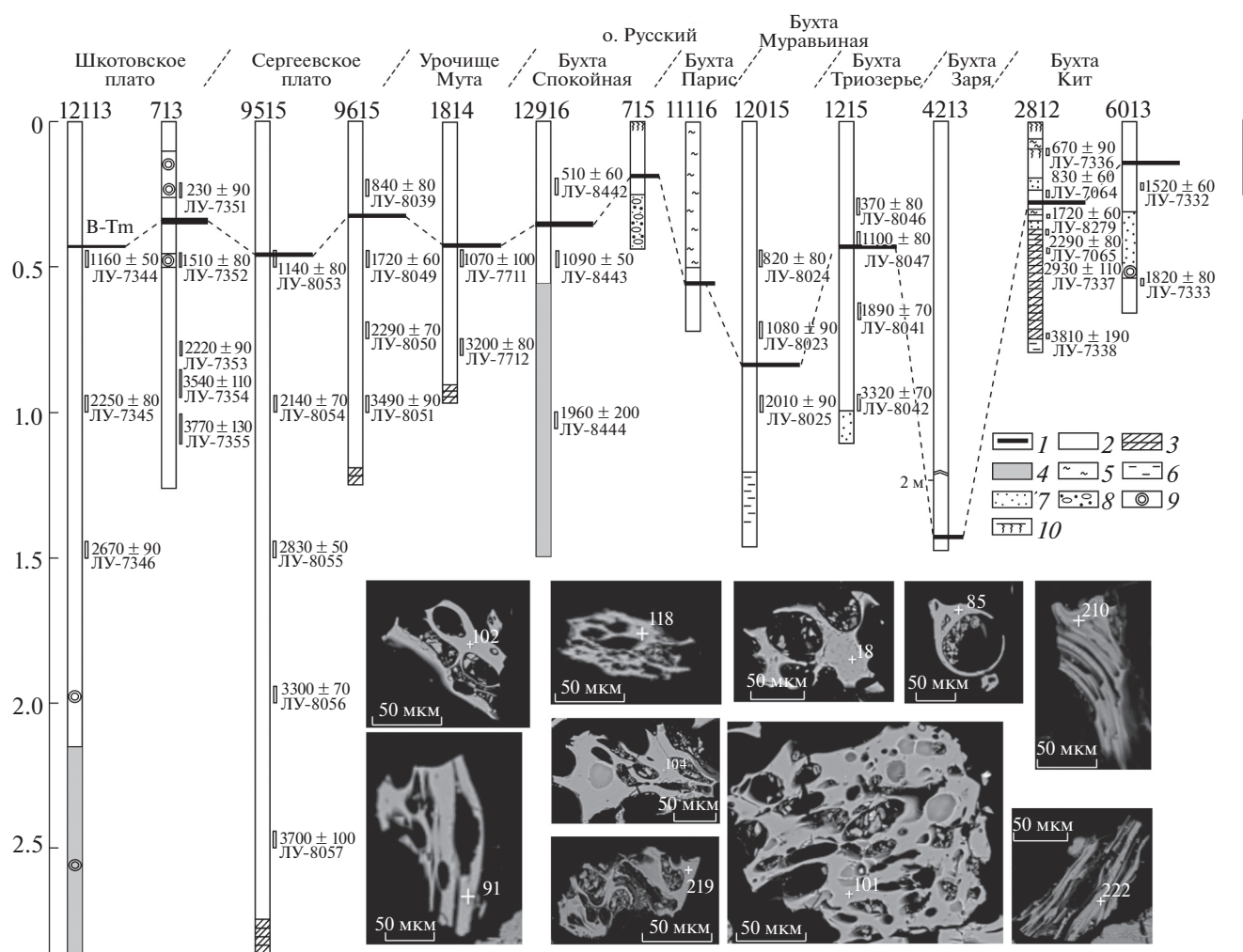


Рис. 2. Разрезы, включающие вулканический пепел В-Tm и вулканическое стекло разной морфологии из континентальных отложений Приморья. Для побережья бух. Кит приведены только разрезы с ^{14}C -датами. 1 – прослой вулканического пепла, 2 – торф, 3 – торфянистый алеврит и оторфованная глина, 4 – гиттия, 5 – суглинок, 6 – алеврит, 7 – песок, 8 – гравий и галька, 9 – древесина, 10 – почва.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСЛОЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА

Тефра влк. Байтоушань найдена в 17 разрезах разнофациальных отложений (рис. 1, 2). Глубина залегания прослоев сильно отличается в зависимости от скоростей накопления органогенных отложений. Во всех разрезах прослой имеет резкие контакты и горизонтально-волнистое залегание. В горных районах прослой вулканического пепла обнаружены в разрезах торфяников на Шкотовском, Сергеевском плато и урочище Мута в верховьях р. Уссури. Максимальная мощность (2 см) отмечена в разрезе торфяника Шкотовского плато в краевой части Ларченкова (Ларкиного) болота, образованного на месте палеозера на абс. высоте 730 м н.у.м. (в 420 км от влк. Байтоушань). В центральной части палеозера встречена только криптотефра. Пепловые прослой хорошо вы-

ражены в разрезах двух болотных массивов, образованных на месте заросших озер в центральной части Сергеевского плато, где мощность пепла не превышает 1–1.5 см. Причем, на восточном болоте частицы пепла не проникали в нижележащий хорошо разложившийся плотный травяной торф. На западном болоте вулканическое стекло в виде криптотефры встречается и ниже прослоя и, по-видимому, было вымыто в подстилающий более рыхлый травяно-сфагновый торф на глубину до 12 см. В урочище Мута, представляющем уплощенный водораздел между р. Уссури и р. Милоградовка, расположено обширное верховое болото. Мощность прослоя пепла, найденного в торфянике, здесь снижается (1 см), он залегает гнездами. Видимо, этот участок близок к границе сектора разноса пепла.

На побережье Приморья тефра обнаружена на о. Русский, где прослой вулканического пепла

(мощность до 3 см) хорошо выражен в разрезах торфяников в обрамлении береговых озер на побережье бухт Парис и Спокойная — около оз. Глуздовского, здесь же в почвенном профиле на древнем штормовом валу обнаружено только гнездо вулканического пепла (1×2 см). В бух. Парис прослой вулканического пепла залегает в торфе, перекрытом слоем суглинка антропогенного происхождения, образованном в результате усиления плоскостного смыва при постройке дорог. На побережье бух. Муравьиная (в кутовой части Уссурийского залива) пепел встречен в разрезе торфяника около оз. Черепашье. Гнездо пепла (1×2 см) найдено среди плохо разложившегося травяного торфа, которое, судя по ^{14}C -датам, 1080 ± 90 л.н., 1010 ± 110 кал. л.н., ЛУ-8023 из выше-лежащего торфа, было “затянуто” в нижележащие слои по вертикально ориентированным корням болотных растений или замыто тальми водами. Криптотефра встречается в выше- и нижележащем торфе (инт. 0.75–0.85 м). В бух. Триозерье в разрезе торфяника, расположенном в 230 м от береговой линии, рассеянное вулканическое стекло найдено в тонком (несколько мм) слое морского песка, который предположительно оставило одно из сильнейших исторических цунами в Японском море, произошедшее 16 июня 1026 г. н.э. [3]. Не ясно, было ли вулканическое стекло переотложено волной или слои, образование которых разделяет всего 60 лет, лежат практически на одной глубине. Эпицентр землетрясения, вызвавшее это гигантское цунами находился в юго-восточной части Японского моря. Возможно, это цунами могло быть одной из причин плохой сохранности тефры влк. Байтоушань в разрезах береговой зоны Южного Приморья. Небольшое гнездо вулканического пепла найдено в разрезе торфяника в бух. Заря, на побережье которой за штормовым валом (высотой 5 м) расположено одноименное реликтовое озеро. На болоте, окружающем озеро, была пробурена скважина глубиной 5 м, вскрывшая торфяник, который накапливался с большими скоростями (2.1 мм/год). Гнездо вулканического пепла В-Тм влк. Байтоушань (0.5×1 см) обнаружено на глубине 2.21 м. Бухта Кит была первой, где был найден прослой вулканического пепла В-Тм [2]. Прерывистый прослой тефры выходит в верхней части разреза среднеголоценовой лагунной террасы (высотой 2.5 м), расположенной в урочище Лагунная Падь. Ниже и выше в почвенном профиле залегают отложения цунами, представленные слоями песка, и сильных наводнений, оставивших покровы суглинков. В настоящее время тефра влк. Байтоушань обнаружена в разрезах торфяников всех болотных массивов бухты, образованных на месте лагун и береговых озер, приуроченных к устьям низкопорядковых водотоков (рис. 2). Мощность прослоев меняется от 1 см до нескольких мм. По-

видимому, этот участок побережья находится около границы сектора пеплопада в Приморье (в 520 км от вулкана). Во время работ по поиску палеоцунами с детальным бурением прибрежных торфяников по профилям от береговой линии вглубь суши в бухтах Валентин и Милоградовская, лежащих севернее бух. Кит, следов вулканического пепла не было обнаружено. Следует учитывать, что в бухтах, в которые впадают относительно крупные реки, прослой тефры мог быть уничтожен наводнениями.

ОПИСАНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

В большинстве разрезов вулканический пепел сложен светло-серым алевритом, иногда с зеленоватым оттенком, в ряде случаев почти белым, в почвенных профилях пепел имеет буровато-желтый цвет. Основным минеральным компонентом является бесцветное вулканическое стекло, представленное волокнисто-удлиненными и пузырчатыми разностями, реже — стенками крупных пузырьков (рис. 2). Стекло не содержит включений, не корродировано и, за исключением почвенных профилей, не имеет следов выветривания.

Во всех изученных разрезах в составе вулканического пепла преобладают частицы алевритовой размерности, материал хорошо сортирован. На Шкотовском плато средний размер зерен — 77 мкм, примесь пелита (<10 мкм) составляет до 20.7%, крупные фракции представлены мелким песком (29.7–30.2%), наиболее крупные частицы имеют размер 250–280 мкм (0.2%). Гранулометрическая кривая распределения одномодальная (мода 80–90 мкм), практически симметрична, с небольшим хвостом тонких фракций. В разрезах голоценовых отложений бух. Кит пепел сложен частицами меньшей крупности, гранулометрическая кривая распределения одномодальная (мода 36–40 мкм), почти симметричная, доминируют алевритовые фракции (74.7%), средний размер зерен — 38 мкм, содержание мелкопесчаной фракции $<17.7\%$, примесь частиц <10 мкм не превышает 8%, наиболее крупные частицы имеют размер 110–120 мкм (2.4%). Криптотефра, обнаруженная в отложениях Амурского залива, имеет меньший размер: преобладают зерна 5–20 мкм, встречаются крупные частицы до 50 мкм [1].

ВОЗРАСТ ТЕФРЫ

Принадлежность обнаруженного вулканического пепла к тефре “тысячелетнего извержения” влк. Байтоушань подтверждают результаты радиоуглеродного датирования вмещающих и подстилающих органогенных отложений (рис. 2). Полученные датировки близки к результатам да-

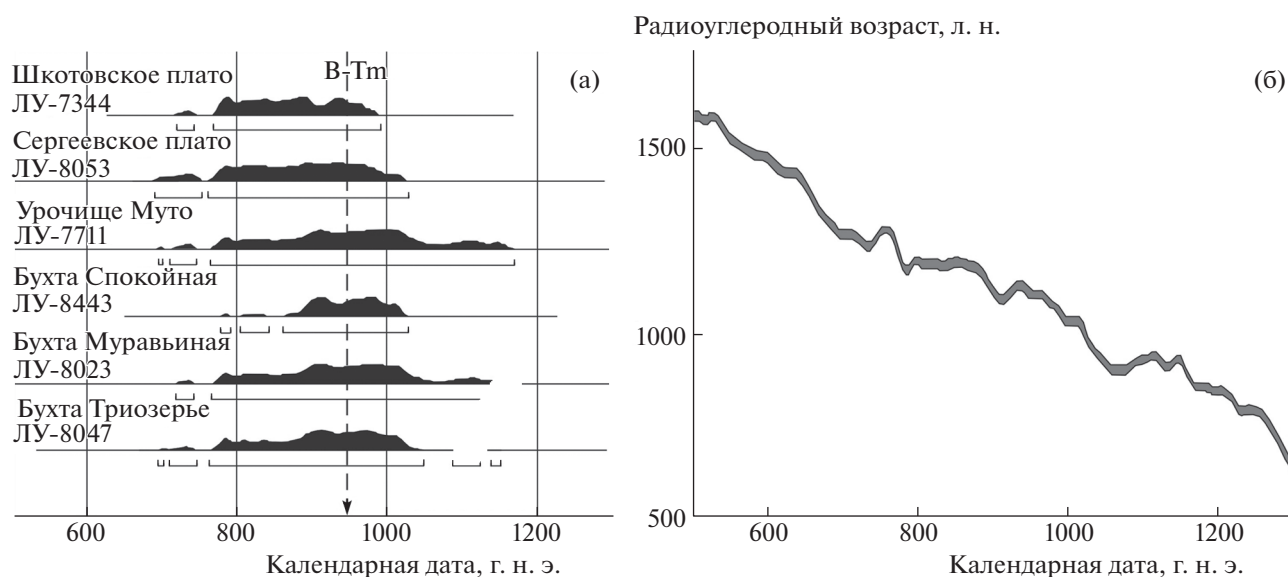


Рис. 3. Интервалы калиброванных дат ($\pm 2\sigma$) из органических отложений, вмещающих и подстилающих прослой вулканического пепла В-Тm (а), фрагмент калибровочной кривой IntCal13 (б). Датирование образцов торфа проведено в институте наук о Земле СПбГУ, использован сцинтилляционный метод измерения радиоуглерода. Калибровка радиоуглеродных дат в календарные сделана с помощью программы OxCal 4.2 с использованием калибровочной кривой IntCal13 (<https://c14.arch.ox.ac.uk>).

тирования, полученным по древесине, захороненной пирокластическими потоками [8, 11, 15], и данными по датированию дистальной тefры в Северо-Восточном Китае [13] и на Японских островах [7, 10, 11]. Некоторый разброс дат, полученных по разрезам Приморья, объясняется разными скоростями торфонакопления. Из данных рис. 3 следует, что точная дата вулканического пепла В-Тm, равная 946/947 гг. н.э. находится в интервале калиброванного возраста прослоев торфа, включающих данный вулканический пепел, что свидетельствует о достоверности полученных радиоуглеродных датировок.

Изучен состав вулканического стекла и проведено сопоставление с данными по проксимальной и дистальной зонам. Макроэлементный состав вулканического стекла из большинства точек довольно однородный и характеризуется небольшим разбросом значений: SiO_2 обычно варьирует от 65.01 до 67.89%, характерно высокое содержание K_2O (обычно 5.49–6.17%), Na_2O (до 5.67%), низкое TiO_2 (<0.79%), CaO (типично 1.09–1.48%) и MgO (обычно между 0.11 и 0.31%), MnO (<0.20%), FeO (4.50–5.17%). По составу эти стекла близки (рис. 4, табл. 1) к трахитовым разновидностям вулканического стекла из проксимальной и дистальной зон [6–8, 10, 13, 15]. Аналогичный состав имеет вулканическое стекло, найденное в отложениях Амурского залива [1].

В разрезах бух. Кит стекло имеет бимодальный состав. Помимо трахитовых, в небольшом количестве (9.1%) присутствуют риолитовые стекла.

Содержание SiO_2 обычно 71.27–76.36%, K_2O (4.35–5.87%), Na_2O (до 5.30%), более низкие значения CaO (0.20–0.27%), MgO (<0.08%), MnO (0.03–0.16%), FeO (3.97–4.41%), Al_2O_3 (<10.81%). Одно зерно риолитового стекла (2.9% от общего числа анализов) близкого состава найдено на Шкотовском плато. Состав риолитового стекла хорошо сопоставим с аналогичными стеклами тefры В-Тm из стратотипа Томакомаи и из других удаленных местоположений [6, 7, 10, 12, 13, 15]. Многие авторы классифицируют риолитовую пирокластику, как комендиты: для стекол характерны низкие значения Al_2O_3 и FeO [5, 7, 8, 10]. Как и в дистальной тefре обе популяции вулканического стекла из прослоев пепла в Приморье показывают тренд уменьшения содержания TiO_2 , CaO , MgO , FeO и K_2O с увеличением SiO_2 (рис. 4).

Принципиальную важность имеет сопоставление полученных геохимических данных с результатами изучения пирокластических потоков и тefры дальнего разноса. Изучение отложений этого извержения в пределах вулканической постройки позволили выделить три генерации пирокластических потоков, сложенных (сверху–вниз) черными и темно-серыми трахитами (С1 и С2) и светло-серыми риолитами (С3) [7]. Между этими генерациями нет эрозионных контактов и погребенных почв, которые указывали бы на длительный временной перерыв. Хотя нет единого мнения о возрастной привязке этих образований, последние работы [7, 8] убедительно доказывают, что все три генерации являются продуктами каль-

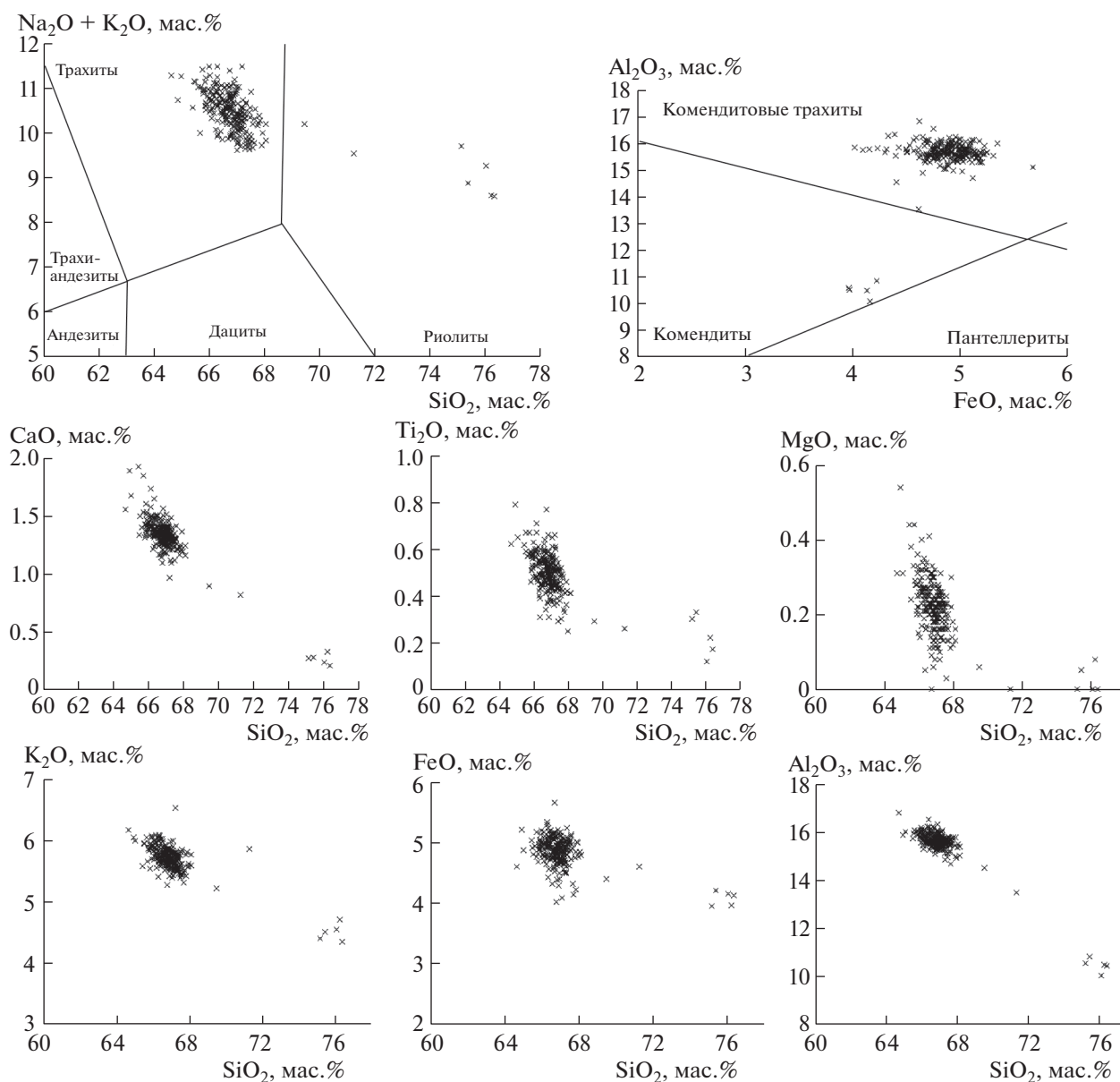


Рис. 4. Петрохимические характеристики вулканического стекла тефры В-Тм из разрезов озерно-болотных отложений Приморья.

дерообразующего извержения X века и отражают его различные стадии: от выбросов кислой магмы комендитового состава в максимальную фазу на начальном этапе извержения до трахитов завершающей фазы. Две эруптивных фазы извержения выделяют и другие исследователи [7, 8, 10, 14]. Учитывая геохимическую бимодальность вулканического стекла дистальной тефры, найденной на Японских островах, в которой присутствует как риолитовые, так и трахитовые стекла, делается заключение о том, что пепел В-Тм является смесью материала, образованного в разные фазы извержения [10]. В дистальной тефре (оз. Кусю, о. Ребун) есть стекла, состав которых несколько

отличается от пирокластики в проксимальной зоне и, возможно, указывает на взаимовлияние магм разного состава, но большая часть стекол четко делится на две указанных группы [7].

Состав вулканического стекла в тефре В-Тм в Приморье практически во всех точках имеет большое сходство со стеклом пирокластических потоков С2 и С1. Эти данные убедительно доказывают, что эти генерации пирокластики были образованы во время кальдерообразующего извержения влк. Байтоушань в X веке. Основное осаждение материала в Приморье было связано с пеплопадом в заключительный эруптивный цикл.

Таблица 1. Химический состав вулканического стекла из разрезов голоценовых континентальных отложений Приморья (средние значения, мас. %)

Местоположение (число анализов)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
Шкотовское плато (33)	66.82	0.51	15.62	4.87	1.37	0.20	0.16	4.72	5.74
То же (1)	71.27	0.26	13.49	4.61	0.81	0	0.03	3.66	5.87
Сергеевское плато (42)	66.61	0.51	15.70	4.84	1.35	0.22	0.14	4.86	5.75
Урочище Мута (19)	66.87	0.50	15.77	4.91	1.38	0.23	0.16	4.49	5.69
Бух. Спокойная, о. Русский (49)	65.31	0.51	15.40	4.87	1.33	0.24	0.15	4.50	5.66
Бух. Парис, о. Русский (14)	66.83	0.50	15.70	4.93	1.32	0.24	0.16	4.68	5.64
Бух. Муравьиная (12)	66.45	0.53	15.64	5.07	1.43	0.26	0.18	4.56	5.90
Бух. Триозерье (4)	66.59	0.41	15.29	4.92	1.30	0.13	0.12	5.54	5.70
Бух. Кит (60)	66.89	0.49	15.57	4.78	1.31	0.22	0.15	4.90	5.70
То же (6)	74.79	0.24	11.13	4.14	0.36	0.03	0.11	4.57	4.63

Примечание. Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе Hitachi S-3400N при ускоряющем напряжении 20 кВ с системой микроанализа AzTek в Радиовом институте им. В.Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург.

Риолитовое вулканическое стекло, сходное по составу с пирокластическим потоком СЗ начальной фазы извержения, широко представленное в донных осадках Японского моря, на Японских островах и Южных Курилах [7, 10, 12], в Приморье присутствует только на побережье бух. Кит и единично найдено на Шкотовском плато. Судя по распределению дистальной тефры риолитового состава, сектор разноса пирокластики покрывал большую часть территории Юго-Восточного Приморья (рис. 1). По-видимому, гидрометеорологические условия были неблагоприятными для его выпадения и сохранности. Осаждению частиц пеплопада завершающей фазы извержения мог способствовать снегопад, что характерно для конца зимы в Приморье. Если вулканический пепел выпадал в феврале, когда на акваториях был ледяной покров, большая часть его была вынесена со льдами в открытое море, и более высокие содержания следует ожидать в отложениях лагун или береговых озер.

ЗНАЧЕНИЕ ПЕПЛА В-Tm ДЛЯ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ

Глобальный климатический эффект “тысячелетнего извержения” влк. Байтоушань, несмотря на катастрофический характер, не был значительным [15]. По данным дендрохронологии извержение не вызвало значительного летнего похолодания [11]. В кернах льда Гренландии в слоях близкого возраста нет значительного пика сульфатов, которые наряду с газами и производными аэрозолями оказывают наибольшее воздействие на климатическую систему. Объясняют это тем, что извержение произошло в зимнее время, и транспортировка сульфатных аэрозолей в арктический регион была затруднена, и в целом, эмиссия SO₂

была намного ниже по сравнению с сильными извержениями, вызвавшими кратковременные похолодания [15].

Идентификация тефры влк. Байтоушань имеет большое значение для реконструкций развития природной среды в первую очередь с точки зрения хорошего временного маркера последнего потепления голоцена (малый оптимум голоцена, X–XIII века), которое рассматривается многими исследователями, как возможный аналог развития ландшафтов в условиях современного потепления. Для территории Дальнего Востока нет документальных свидетельств о состоянии природной среды и изменениях климата до XVIII века, а инструментальные данные для некоторых районов появились в последние 150 лет. Поэтому информацию об изменениях климата и развитии ландшафтов в историческое время можно получить только на основе палеогеографических данных и датирование событий – одна из первостепенных задач. Находка вулканического пепла В-Tm, имеющего точную временную привязку, позволяет уточнить временные рамки этапов развития ландшафтов и установить реакцию биотических компонентов на кратковременные климатические флуктуации, характерные для последнего тысячелетия.

На Шкотовском плато временные рамки потепления определены около 935–1200 кал. л.н. В это время расширились площади, занятые кедрово-широколиственными лесами, климат был теплее и суше. В темнохвойных лесах по обрамлению болота увеличивалась роль березы. На более высоком Сергеевском плато лесная растительность реагировала на потепление с некоторым запозданием, роль неморальных элементов в кедрово-широколиственных лесах на склонах вулка-

на увеличилась около 980–840 кал. л.н., что фиксируется в палиноспектрах из торфяных горизонтов, лежащих выше слоя с тефрой В-Тм. Увеличение роли кедр корейского и широколиственных в малый оптимум голоцена в торфе, включающем вулканический пепел В-Тм, зафиксировано и в разрезе торфяника урочища Мута. На побережье Восточного Приморья (бух. Кит) к концу малого оптимума в лесной растительности возросла роль корейского кедр. Увеличение в палиноспектрах содержания пыльцы дуба, липы, граба, лещины, сирени, наличие пыльцы ясеня, ильма, ореха свидетельствует, что широколиственные породы были более распространены в лесной растительности. Мы использовали данные по положению слоя тефры В-Тм для реконструкции возраста сильных цунами [2, 3].

Пепел В-Тм можно с успехом использовать и при анализе влияния человека на природную среду в средневековье. Извержение влк. Байтоушань произошло в период, разделяющий существование на юге Дальнего Востока государств Бохай и Цинь – Золотой империи чжурчженей. Находка тефры позволяет точно привязать возраст палеоландшафтных изменений, например, палеопожаров антропогенной природы, возникновение вторичных лесов и т.п. и дает возможность повысить разрешение геохронологических построений.

ВЫВОДЫ

Впервые на территории Приморья найден прослой вулканического пепла В-Тм “тысячелетнего извержения” влк. Байтоушань. Природными архивами для проведенных реконструкций служили разрезы палеоозер и торфяников, как на побережье, так и на горных плато. Мощность слоя тефры не превышает 2 см, определены его размерность и предполагаемые границы распространения. Изучение макроэлементного состава вулканического стекла показало, что большая часть материала имеет трахитовый состав, сходный с пирокластикой проксимальной и дистальной зоны, осаждение основного объема тефры в Приморье происходило в заключительную фазу извержения. Эти данные убедительно подтверждают вывод о принадлежности верхних пирокластических потоков трахитового состава, слагающих стенки кальдеры, к извержению X века. Стекла риолитового состава, образованные в первую фазу извержения и преобладающие в дистальной тефре, в Приморье обнаружены только в двух точках. Предполагается, что гидрометеорологические условия не способствовали осаждению частиц, основная масса пирокластики шла транзитом. Вулканический пепел В-Тм используется авторами, как временной маркер малого оптимума голоцена, для уточнения хронологии палеоцуна-

ми и имеет потенциал для оценки антропогенного воздействия на ландшафты в средневековье.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность коллегам, принявшим участие в экспедициях 2012–2016 гг., и Ю.Л. Крецеру, выполнившему силикатный анализ вулканического стекла.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 11–05–00497, 13–05–10015, 15–05–00171, 15–05–00179), ДВО РАН (12–III–Д–09–043, 14–III–Д–09–052) и по программе “Дальний Восток” (проект 15–I–6–097).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акуличев В.А., Астахов А.С., Малахов М.И., Аксентов К.И., Карабцов А.А., Марьяш А.А., Алаторцев А.В. Первая находка тефры катастрофических извержений вулкана Байтоушань X в.н.э. в шельфовых отложениях Японского моря // ДАН. 2016. Т. 469. № 6. С. 734–738.
2. Ганзей Л.А., Разжигаетова Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Кайстренко В.М., Горбунов А.О., Арсланов Х.А., Чернов С.Б., Наумов Ю.А. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология. 2015. № 1. С. 79–95.
3. Ганзей Л.А., Разжигаетова Н.Г., Нишимура Ю., Арсланов Х.А., Гребенникова Т.А., Лебедев И.И., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Горбунов А.О., Наумов Ю.А. Проявление палеоцунами в позднем голоцене на побережье бухты Триозерье, Японское море // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 166–172.
4. Разжигаетова Н.Г. Индикация голоценовых извержений вулкана Пектусан (Байтоушань) по распределению вулканического стекла в прибрежно-морских осадках Японского моря // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 104–107.
5. Сахно В.Г. Вулкан Пектусан: хронология извержений, состав и эволюция магм на основе К–Аг-датирования и изотопов $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $\delta^{18}\text{O}$ // ДАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 226–233.
6. Сахно В.Г., Уткин И.В. Пеплы вулкана Чанбайшань в осадках Японского моря: идентификация по микро- и редкоземельным элементам и определения возраста их извержений // ДАН. 2009. Т. 428. № 5. С. 641–647.
7. Chen X-Y., Blockley, S.P.E., Tarasov, P.E., Xu Y.-G., McLean, D., Tomlinson E.L., Albert P.G., Liu J.-Q., Müller S., Wagner M., Menzies M.A. Clarifying the Distal to Proximal Tephrochronology of the Millennium (B-Tm) Eruption, Changbaishan Volcano, Northeast China // Quaternary Geochronology. 2016. V. 33. P. 61–75.

8. *Horn S., Schmincke H.-U.* Volatile Emission during the Eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD // *Bull. Volcanol.* 2000. V. 61. P. 537–555.
9. *Machida H.* The Stratigraphy, Chronology and Distribution of Distal Marker-tephras in and Around Japan // *Global and Planetary change.* 1999. V. 21. P. 71–94.
10. *McLean D., Albert P.G., Nakagawa T., Staff R.A., Suzuki T., Suigetsu 2006 Project Members, Smith V.C.* Identification of the Changbaishan “Millennium” (B-Tm) Eruption Deposit in the Lake Suigetsu (SG06) Sedimentary Archive, Japan: Synchronization of Hemispheric-wide Paleoclimate Archives // *Quaternary Science Reviews.* 2016. V. 150. P. 301–307.
11. *Oppenheimer C., Wacker L., Xu J., Galván J.D., Stoffel M., Guillet S., Corona C., Sigl M., Cosmo N.D., Hajdas I., Pan B., Breuker R., Schneider L., Esper J., Fei J., Hammond J.O.S., Büntgen U.* Multi-proxy Dating the “Millennium Eruption” of Changbaishan to Late 946 CE // *Quaternary Science Reviews.* 2017. V. 158. P. 164–171.
12. *Razzhigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M.* Age, Source, and Distribution of Holocene Tephra in the Southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene Eruptive Activities in the Southern Kurile Arc // *Quaternary International.* 2016. V. 397. P. 63–78.
13. *Sun C., You H., He H., Zhang L., Gao J., Guo W., Chen S., Mao Q., Liu Q., Chu G., Liu J.* New Evidence for the Presence of Changbaishan Millennium Eruption Ash in the Longgang Volcanic Field, Northeast China // *Gondwana Research.* 2015. V. 28. № 1. P. 52–60.
14. *Wei H., Liu G., Gill J.* Review of Eruptive Activity at Tianchi Volcano, Changbaishan, Northeast China: Implications for Possible Future Eruptions // *Bulletin of Volcanology.* 2013. V. 75. № 4. P. 1–14.
15. *Xu J., Pan B., Liu T., Hajdas I., Zhao B., Yu H., Liu R., Zhao P.* Climatic Impact of the Millennium Eruption of Changbaishan Volcano in China: New Insights from High-precision Radiocarbon Wiggle-match Dating // *Geophysical Research. Letters.* 2013. V. 40. P. 1–6.

ASH B-Tm OF CATASTROPHIC ERUPTION OF BAITOUSHAN VOLCANO IN TERRESTRIAL DEPOSITS OF PRIMORYE, AS TIME MARKER OF MEDIEVAL WARM PERIOD

**N. G. Razzhigaeva^{a, #}, L. A. Ganzey^a, T. A. Grebennikova^a, L. M. Mokhova^a, Kh. A. Arslanov^b,
F. E. Maksimov^b, A. Yu. Petrov^b, and Corresponding Member of the RAS V. G. Sakhno^c**

^a *Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

^b *St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russian Federation*

^c *Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: nadyar@tigdvo.ru*

The article reports on the first finds of B-Tm volcanic ash of the catastrophic eruption of the Baitoushan Volcano of the 10th century (946/947 AD) in the continental sequences of Primorye. Ash layer was found in 17 sections of lacustrine sediments and peatbogs at 9 sites, both on the coast and in Sikhote-Alin. Identification of volcanic source is carried out on the basis of study of macro-element composition of volcanic glass. Radiocarbon dating was used for age determination. Tephra distribution, changes of grain size depending on distance from source were analysed. Comparative analysis of volcanic glass composition is carried out with data on pyroclastic of proximal zone and with the results of distal tephra study. It is proved that the ash layer in the Primorye was formed in the final phase of the eruption, the exception is the coast of Kit Bay and Shkotovskoe Plateau, where a glass of rhyolite composition was found, corresponding to the maximum phase at the beginning of the eruption. For environmental reconstruction the ash is used as age marker of the Medieval Warm Period, and allows reliably comparing data on sections located on the coast and in the mountains, refining the chronology of paleogeographical events of historical time and performing interregional correlations.

Keywords: Baitoushan Volcano, calderaforming eruption, tephra, Holocene, radiocarbon dating, south Far East