

УДК 551.21+552.11

СОСТАВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ И ДИНАМИКА ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ЖУПАНОВСКИЙ в 2013–2016 гг.

© 2018 г. Н.В. Горбач^{1,*}, А.А. Плечова², Т.М. Маневич¹,
М.В. Портнягин³, Т.М. Философова¹, С.Б. Самойленко¹

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

²Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН

119334 Москва, ул. Косыгина, 19

³Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, GEOMAR, з. Киль, ФРГ

*e-mail: n_gorbach@mail.ru

Поступила в редакцию 17.03.2017 г.

Представлены результаты изучения состава образцов пеплов вулкана Жупановский, изверженных в 2013–2016 гг. На основе данных о морфологии и текстурных особенностях пепловых частиц и составе вулканических стекол выполнено выделение ювенильного компонента в продуктах извержения. Комплекс полученных данных позволяет сделать вывод о фреато-магматическом характере активности вулкана.

DOI: 10.7868/S020303061803001X

ВВЕДЕНИЕ

Изучение состава вулканических пеплов является эффективным инструментом мониторинга и прогноза эруптивной активности наряду с данными сейсмических и дистанционных наблюдений [Пономарева и др., 2012; Suzuki et al., 2013; Cashman, Noblitt, 2004; Taddeucci et al., 2002 и др.]. Этот метод становится особенно важным, если извержение или его начальная стадия имеют фреатическую или фреато-магматическую природу. В подобном случае тефра является одним из немногих источников информации о процессах в магматической системе вулкана, а ключевой задачей становится определение наличия, количества и состава ювенильного материала в продуктах извержения. Одним из наиболее успешных примеров таких исследований является работа по вулкану Унзен в Японии, когда при изучении серии образцов пеплов извержения 1991 г. удалось зафиксировать появление ювенильного материала за три месяца до начала роста экструзивного купола [Watanabe et al., 1999; Nakada et al., 1995]. Петрологическое изучение образцов пеплов извержения Эйяфьядлайекюдль в Исландии, вместе с данными сейсмического мониторинга, позволило оценить скорость подъема магмы к поверхности и длительность процесса смешения магм [Portnyagin et al., 2011; Sigmarsson et al., 2011]. В работе [Пономарева

и др., 2012] впервые показана возможность оценки текущего состояния магматических систем активных вулканов Камчатки по результатам изучения состава вулканических стекол в тефре современных извержений.

В данной работе представлены результаты изучения состава образцов пеплов вулкана Жупановский, изверженных с 2013 по 2016 г. Приведены данные по химическому и компонентному составу пеплов наиболее крупных взрывных событий. С целью выделения ювенильного компонента изучены морфология и текстурные особенности пепловых частиц и состав вулканических стекол в фрагментах пеплов и продуктов обрушения активного конуса в июле 2015 г. На основе комплекса полученных данных сделан вывод о фреато-магматическом характере извержения. Показано, что обрушение сектора активного конуса могло оказать влияние на динамику последующих взрывных событий.

АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА в 2013–2016 гг.

Характеристика объекта исследования

Вулкан Жупановский расположен в 70 км к северу от г. Петропавловска-Камчатского (рис. 1а) и входит в состав Дзензур-Жупановской группы вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки.

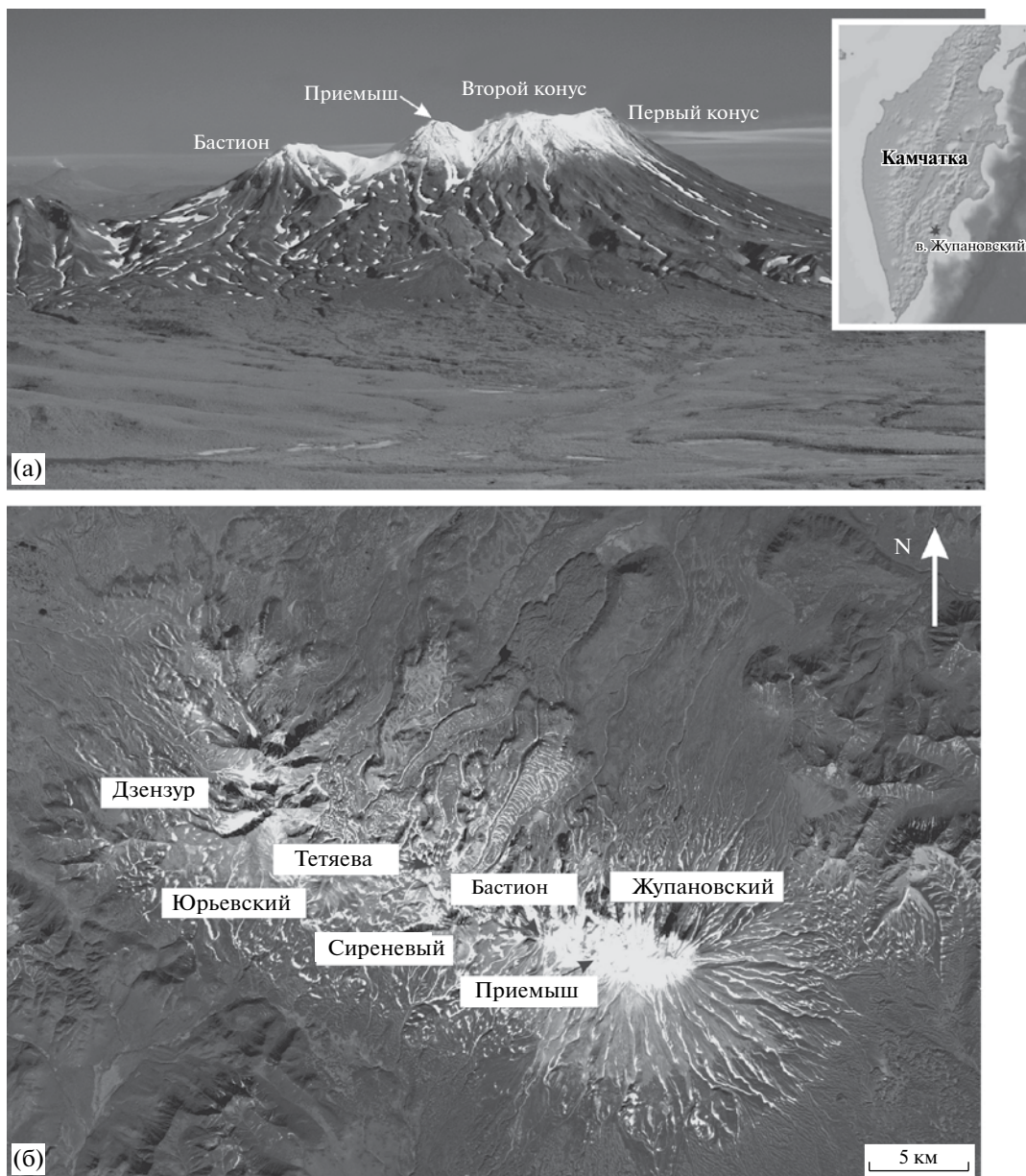


Рис. 1. Вулкан Жупановский (а) и его позиция в составе Дзензур-Жупановской вулканической группы (б).

Дзензур-Жупановская группа – сложный вулканический массив, который помимо четырех конусов Жупановского вулкана включает интенсивно эродированные постройки вулканов Дзензур, Юрьевский и Сиреневый, вулкан Тетяева и связанные с ним обширные лавовые поля (см. рис. 16). Конусы вулкана Жупановский – восточное звено данной группы вулканов. Первый и второй конусы не имеют собственных названий, третий и четвертый конусы названы Приемыш и Бастион [Базанова и др., 2009; Литвинов, Бурмаков, 1993]. Формирование первого и второго конусов началось в позднем плейстоцене. Продукты извержений наиболее высокого (абс. высота 2927.2 м) первого

конуса представлены редко-порфировыми базальтами с оливин-плаггиоклазовым (\pm пироксен) парагенезисом вкрапленников. Второй конус – крупная лавово-пирокластическая постройка (абс. высота 2884 м), на склонах которой находится несколько шлаковых конусов. Составы его лав менялись во времени от андезибазальтов и андезитов до базальтов [Базанова и др., 2009; Литвинов, Бурмаков, 1993; Плечова и др., 2011].

Конусы Приемыш и Бастион имеют голоценовый возраст и сложены преимущественно лавами андезитового состава [Литвинов, Бурмаков, 1993; Масуренков и др., 1991]. По данным работ [Пузанков и др., 2016; Базанова и др., 2009] начало деятельности

конуса Приемыш относится к раннему голоцену (~7400 ¹⁴С лет назад (л.н.)). Максимальная активность конуса наблюдалась в период с ~3500–3000 по 1800 ¹⁴С л.н., а с извержением ~2100 ¹⁴С л.н. было связано формирование пемзовых пирокластических потоков. В работе [Масуренков и др., 1991] приводятся сведения о шести слабых эксплозивных извержениях конуса Приемыш в историческое время – в 1776, 1882, 1925, 1929, 1940 и 1956–1957 гг.

Динамика извержения вулкана в 2013–2016 гг.

Первая серия пепловых выбросов высотой до 5 км над уровнем моря (у.м.) произошла на конусе Приемыш 23 октября 2013 г. [Самойленко и др., 2014]. Зона пеплопада протянулась в южном и юго-восточном направлении более чем на 50 км от вулкана и покрыла площадь 1200 км². На склонах конуса мощность слоя пепла достигала 15–20 см. Общая масса пепла, изверженного в начальный эпизод извержения оценивается в 100 тыс. т.

В течение зимы и весны 2014 г. на вулкане наблюдалась парогазовая эмиссия, выбросы пепла не фиксировались. Эксплозивная активность возобновилась в начале июня 2014 г. 6–7 июня пепловый шлейф от эксплозий протянулся в восточном направлении, его отложения на снегу прослеживались до побережья Тихого океана. В 6-ти км к востоку от кратера мощность выпавшего пепла составила 5 мм, по мере удаления от вулкана она постепенно убывала – до 1 мм на расстоянии 40 км. Общая масса изверженного пепла составила 120 тыс. т. Пеплопад распространился на площади 1800 км² [Маневич и др., 2015].

В течение последующих 10 месяцев (июль 2014 г. – апрель 2015 г.) из кратера активного конуса происходили эпизодические выбросы пепла (рис. 2) на высоту преимущественно до 4–5 км над у.м. (реже – до 8–10 км) на фоне интенсивной парогазовой деятельности. С мая по июнь 2015 г. эксплозивная активность не фиксировалась.

12 июля 2015 г. произошло мощное эксплозивное извержение, сопровождавшееся серией сильных сейсмических событий в постройке вулкана. По сейсмическим данным высота эксплозий во время извержения могла превышать 10 км над у.м. [Сенюков и др., 2015]. Распространение пеплового шлейфа было максимальным за весь период активности – пепел распространился на 1100 км к юго-востоку от вулкана (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-179>). 14 июля было зафиксировано еще одно менее мощное эксплозивное событие. 16 июля было обнаружено, что южный сектор активного конуса разрушен, а подножие вулкана покрыто обширным полем обвалных отложений и грязевых потоков [Горбач и др., 2015].

С августа по октябрь 2015 г. происходили единичные слабые пепловые выбросы. В конце ноября–начале декабря 2015 г. последовала серия эксплозивных событий, наиболее мощное из которых (до 8–9 км над у.м.) произошло 30 ноября. По данным (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-211>), это событие сопровождалось образованием грязевых или пирокластических потоков. Новая серия мощных пепловых выбросов наблюдалась в конце января 2016 г.: 19 января – 8 км над у.м., 21 и 24 января – около 5 км над у.м. Отдельные мощные выбросы наблюдались также 9



Рис. 2. Эксплозивная активность конуса Приемыш в январе 2015 г. и отбор образцов пеплов.

и 12 февраля – 8–10 км над у.м., а также 24 марта 2016 г. [Гирина и др., 2016]. Последнее эксплозивное событие на момент написания статьи (декабрь 2016 г.) произошло 20 ноября 2016 г. (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>)

Изменения морфологии кратерной зоны

Кратер конуса Приемыш был описан в работах [Литвинов, Бурмаков, 1993; Масуренков и др., 1991; Горшков, Слезин, 1972; Сирин, 1958; Пийп, 1947]. Его диаметр на основании визуальных определений оценивался от 200 до 450 м. В описаниях упоминалась также кратерная воронка с диаметром 80 м к западу от центрального кратера. По космическим снимкам Landsat 8-OLI (<http://landsat>.

visibleearth.nasa.gov/view.php?id=82427) диаметр кратера до извержения не превышал 200 м. Результаты аэровизуальных наблюдений в 2014 – первой половине 2015 г. и их сопоставление с данными из ранних работ указывают на то, что во время начальных эпизодов извержения морфология кратера существенно не менялась.

Эксплозивная активность в июле 2015 г. и обрушение сектора конуса кардинально изменили облик его вершинной зоны. Сохранилась лишь северная стенка кратера, его южный край был уничтожен полностью. На склоне конуса был образован открытый на юг обвальнo-эксплозивный цирк глубиной ~ 500 м и шириной 250–300 м [Горбач и др., 2015]. Стенки новообразованного обвальнo-эксплозивного

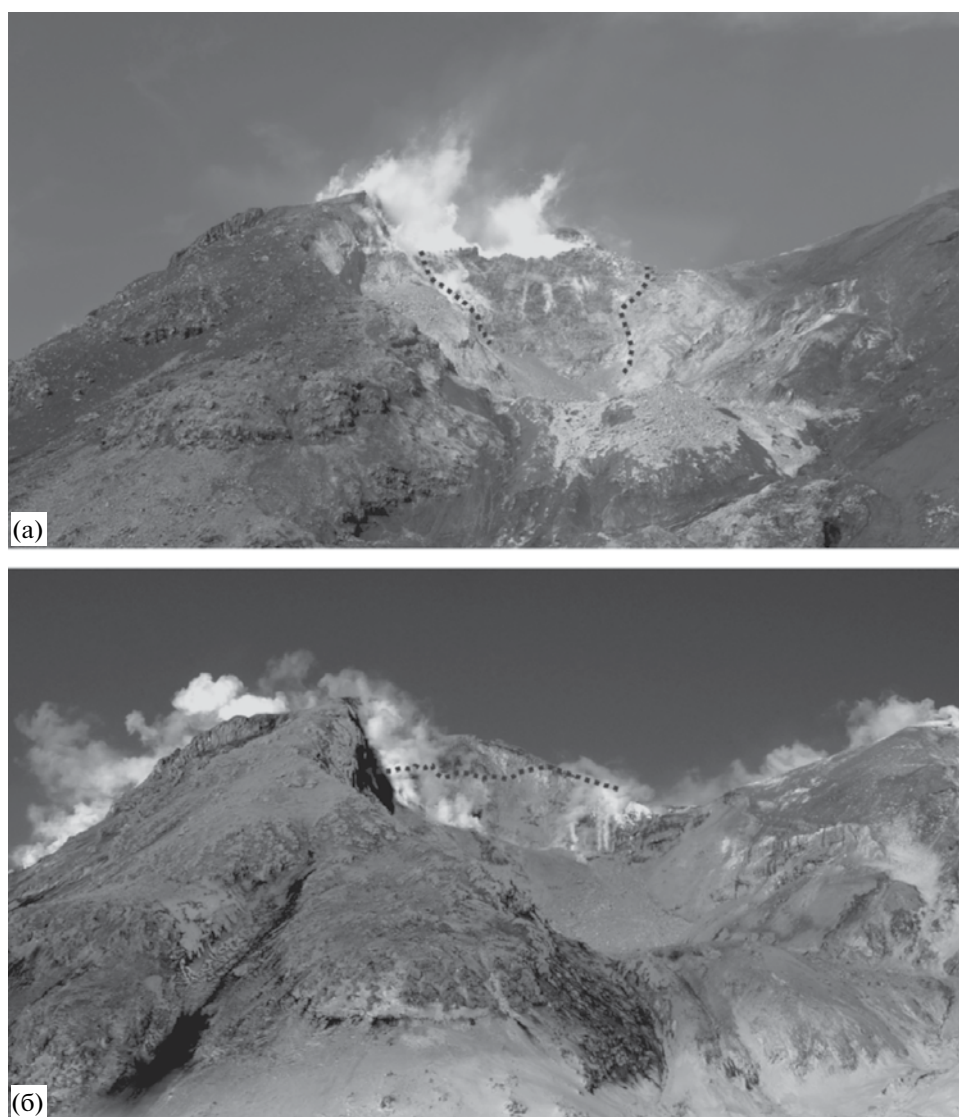


Рис. 3. Изменения морфологии кратерной зоны.

а – вид с юга на разрушенный сектор конуса Приемыш 16 июля 2015 г., пунктиром выделены контуры нека, обнажившегося после обрушения; б – вид на конус со сходного ракурса 23 января 2016 г., пунктир показывает верхний контур нека в июле 2015 г. Фото А.А. Плечовой (а) и С.А. Чиркова (б).

цирка вскрыли строение вершинной части конуса Приемыш и верхнюю часть его выводящего канала (рис. 3а). В результате эксплозивной активности в начале 2016 г. размеры цирка несколько увеличились – изменился профиль восточной стенки, а лавовое тело (см. рис. 3б) в его центральной части было почти полностью разрушено. По данным дистанционных и полевых наблюдений, признаки экструзивной или эффузивной активности в кратере, а затем и в новообразованном обвальном цирке не отмечались.

ОТБОР ОБРАЗЦОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы пеплов отбирались в ходе извержения преимущественно со снежного покрова в большинстве случаев непосредственно после эксплозивных событий. Данные о месте и времени отбора приведены в таблице 1. Для химического и минералогического анализов было использовано 16 образцов пеплов наиболее крупных выбросов и четыре образца материала обвала. Химический состав пеплов определялся рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре “S4 PIONEER” в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (аналитики Н.Ю. Курносова, Н.И. Чеброва).

Определение состава вулканических стекол было выполнено на электронном зонде JEOL JXA 8200 в Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, GEOMAR, г. Киль, ФРГ. Всего было получено около 300 определений содержаний главных элементов, а также серы и хлора в стеклах из 10 представительных образцов. Вместе с образцами пеплов были проанализированы также вулканические стекла пород постройки конуса – раздробленный вручную образец стекловатой лавы вершинного потока и рыхлый материал обвала (табл. 2, обр. 7650 и 7651-1). Анализ проводился расфокусированным до 5 мкм электронным пучком при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе 6 нА. Контроль качества анализов выполнялся при помощи стандартов: базальт, риолит и скаполит. Детальное описание методики определений состава вулканических стекол и обработки анализов приведено в работе [Пономарева и др., 2012].

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЯ

Химический и минеральный составы пеплов

Краткое описание образцов наиболее крупных эксплозивных событий и их микроскопический облик представлены в таблице 2. Большинство проб, отобранных на расстоянии от 20 до 50 км от

центра извержения, представлено средне- и мелкозернистым вулканическим песком. Образцы, отобранные на склонах активного конуса, имеют более грубый механический состав. Так, образец 06–14 (~4 км от центра извержения) сложен преимущественно крупно- и среднезернистым вулканическим песком, а образец 01-16, отобранный на расстоянии ~1 км от центра извержения, содержит небольшую долю лапилли.

По компонентному составу все образцы пеплов близки и преимущественно состоят из остроугольных плотных фрагментов, насыщенных микролитами, обломков минералов (пироксена, плагиоклаза и в редких случаях оливина) и продуктов гидротермальной деятельности. Последние включают обломки в различной степени измененных пород, кварц-полевошпатовые агрегаты, иногда с обильными выделениями сульфидов, обломки гипса, ангидрита и других сульфатов. Соотношение компонентов в пеплах различно. Наиболее богаты частичками гидротермально измененных пород и вторичных минералов пеплы, соответствующие эксплозивным событиям начального этапа извержения (октябрь 2013 г., июнь и октябрь–декабрь 2014 г.), а также пеплы, изверженные 12 июля 2015 г. В пеплах, изверженных в начале 2015 и 2016 гг., преобладают плотные фрагменты (рис. 4а).

В большинстве образцов в малом количестве (от ~1 до 5–7%) отмечено присутствие пористых стекловатых обломков (см. рис. 4б), а в продуктах, изверженных в 2016 г., были найдены и пемзовидные частички (см. рис. 4в, 4г, 4д). К единичным находкам относятся фрагменты гомогенного стекла (см. рис. 4е) и частицы, в которых сочетаются участки с разной текстурой (см. рис. 4ж, 4з). Раздробленный вручную образец стекловатой породы из постройки конуса, отобранной на обвальном поле, сходен по облику с образцами пепла (см. табл. 2, обр. 7651-1), но характеризуется меньшей разнородностью, отсутствием гидротермально измененного материала и преобладанием пористого типа частиц.

Химический состав пеплов наиболее крупных эксплозивных событий 2013–2016 гг. представлен в таблице 3. Все образцы по составу отвечают умеренно калиевым андезитам (до дациандезитов) известково-щелочной серии (рис. 5), что типично для позднеголоценовой активности конуса Приемыш [Базанова и др., 2009; Пузанков и др., 2016]. Содержание кремнекислоты в образцах пепла изменяется от 56.9 до 65.4 масс.%. Такой широкий диапазон валового состава отражает различную примесь продуктов гидротермальной деятельности в пеплах отдельных выбросов, что хорошо видно при сопоставлении данных из таблиц 2 и 3. Пеплы, в которых примесь гидротермальных обломков максимальна (например, обр. 10-13 и 07-15), характеризуются наиболее низким содержанием SiO_2 (и наиболее высокими потерями

Таблица 1. Образцы пеллов вулкана Жупановский 2013–2016 гг.

Номер образца / время пеллопада	Координаты точек отбора (с.ш., в.д.)	Местоположение точек отбора и расстояние от центра извержения	Масса пелла, г/м ²	Дата отбора	Коллектор
10-13, 24 октября 2013 г.	53° 33'32", 159° 05'42"	склоны Второго конуса, абс. выс. 1187 м, ~ 3.5 км к юго-востоку	1100	26.10.2016	Самойленко С.Б.
06/1-14, 7-10 июня 2014 г.	53° 35'56", 159° 12'31"	склоны Второго конуса, абс. выс. 1115 м, ~ 4 км к востоку	1732	10.06.2014	Маневич Т.М.
06/2-14, 7 июня 2014 г.	53° 34'20", 159° 44'53"	~40 км к востоку	126	10.06.2014	Маневич Т.М.
06/3-14, 7 июня 2014 г.	53° 34'27", 159° 24'36"	~20 км к востоку	276	10.06.2014	Маневич Т.М.
12-14, 29 декабря 2014 г.	53° 30'28", 158° 45'28"	Нальчевские горячие источники, ~23 км к юго-западу	75	22.01.2015	Федосеев А.Ю.
01-15, 16 января 2015 г.	53° 30'28", 158° 45'28"	Нальчевские горячие источники, ~23 км к юго-западу	500	22.01.2015	Федосеев А.Ю.
01/1-15, 16 января 2015 г.	53° 34'31", 158° 56'19"	Таловские горячие источники, ~18 км к юго-западу	160	31.01.2015	Муравьев Я.Д.
01/2-15, 16 января 2015 г.	53° 14'24", 159° 06'30"	Восточное подножие влк. Козельский, ~38 км к югу	11.2	29.04.2015	Маневич Т.М.
02-15, Февраль 2015 г.	53° 21'28", 158° 55'53"	Восточное подножие влк. Корякский, ~32 км к югу	18	13.05.2015	Маневич Т.М.
03-15, Март 2015 г.	53° 34'31", 158° 56'19"	Таловские горячие источники, ~18 км к юго-западу	50	31.03.2015	Муравьев Я.Д.
07-15, 12 июля 2015 г.	53° 10'24", 159° 20'47"	мыс Налычево, ~48 км к юго-востоку	40	15.07.2015	Волосынин С.М.
01-16, 19-21 января 2016 г.	53° 35'40", 159° 05'51"	склоны конуса Приеммыш, абс. высота 1984 м, ~ 1 км к юго-западу	3737	23.01.2016	Горбач Н.В.
01/1-16, 19-21 января 2016 г.	53° 34'31", 158° 56'19"	Таловские горячие источники, ~18 км к юго-западу	106	22.01.2016	Федосеев А.Ю.
01/2-16, 21 января 2016 г.	53° 27'14", 158° 36'52"	Пиначевский перевал, ~ 36 км к юго-западу	6	10.02.2016	Маневич А.Г.
02-16, 6 февраля 2016 г.	53° 30'23", 159° 48'18"	оз. Калагирь, ~46 км к востоку	35	06.02.2016	Федосеев А.Ю.
02/1-16, 10 февраля 2016 г.	53° 24'473", 159° 37'07"	нижнее течение р. Вахиль, ~40 км к юго-востоку	26	13.02.2016	Федосеев А.Ю.
02/2-16, 13 февраля 2016 г.	53° 23'174", 59° 36'487"	нижнее течение р. Вахиль, ~46 км к юго-востоку	102.4	13.02.2016	Федосеев А.Ю.
03-16, 25 марта 2016 г.	53° 19'29", 157° 31'49"	п. Малки, ~110 к юго-западу	7	25.03.2016	Маневич Т.М.
11-16, 20 ноября 2016 г.	53° 31'170", 159° 46'657"	оз. Калагирь, ~46 км к востоку	31	15.02.2017	Федосеев А.Ю.

при прокаливании) по сравнению с другими образцами. Породы постройки конуса, отобранные на обвальном поле (см. табл. 3, №№ 18–20), по химическому составу отвечают андезитам. Следует отметить, что к этому составу приближаются и составы тех образцов пеплов, в которых примесь гидротермального материала незначительна.

*Морфология пепловых частиц
и состав вулканических стекол*

По морфологии и текстурным особенностям в образцах пеплов наиболее крупных эксплозивных событий в 2013–2016 гг. и в продуктах обвала в июле 2015 г. выделено три типа фрагментов.

Таблица 2. Краткая характеристика образцов пеплов наиболее крупных эксплозивных событий и материала обрушения сектора конуса

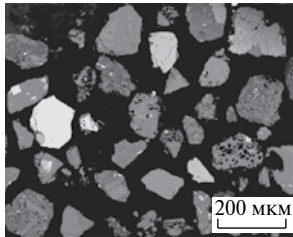
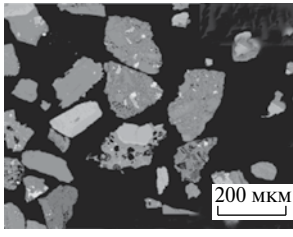
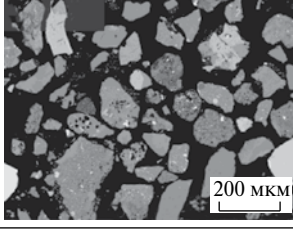
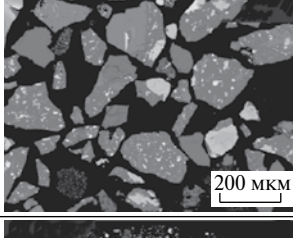
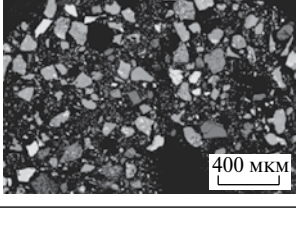
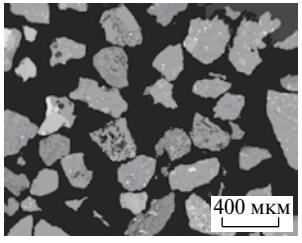
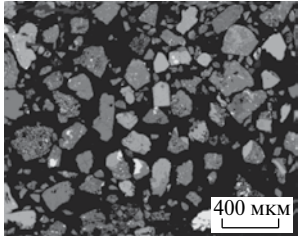
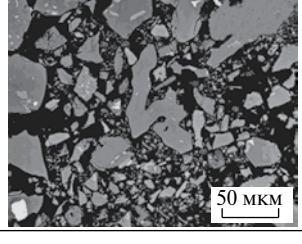
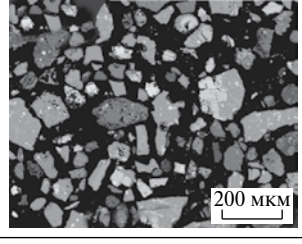
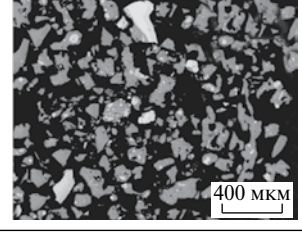
№ образца/ дата эруптивного события	Гранулометрический состав (размер частиц – процентное содержание)	Основные компоненты	Микрофото образца
Образцы пеплов			
10-13/ октябрь 2013 г.	>0.063 – 14.5% 0.063–0.125 – 38% 0.125–0.250 – 36% 0.250–0.5 – 12%	Обломки гидротермально измененных пород и вторичных минералов ~60–70%; плотные фрагменты и обломки минералов ~20%; пористые стекловатые фрагменты единичны	
06-14/ июнь 2013 г.	>0.063 – 4.4% 0.063–0.125 – 19.7% 0.125–0.250 – 39.5% 0.250–0.5 – 34.9% 0.5–1.0 – 1.5%	Обломки гидротермально измененных пород и вторичных минералов ~60%; плотные фрагменты и обломки минералов ~30%; пористые стекловатые фрагменты единичны	
12-14/ декабрь 2013 г.	>0.063 – 18.4% 0.063–0.125 – 37.1% 0.125–0.250 – 44.5%	Обломки гидротермально измененных пород и вторичных минералов ~70–80%; присутствуют кварц-полевошпатовые агрегаты с выделениями сульфидов; плотные фрагменты и обломки минералов ~20%; пористые стекловатые фрагменты единичны	
01-15/ январь 2015 г.	>0.063 – 7% 0.063–0.125 – 23.8% 0.125–0.250 – 21.7% 0.250–0.5 – 46.8% 0.5–1.0 – 0.7%	Плотные фрагменты и обломки минералов ~80–85%; обломки гидротермально измененных пород и вторичные минералы ≤15%; пористые стекловатые фрагменты единичны	
07-15/ июль 2015 г.	Преобладание пылевой фракции	Обломки гидротермально измененных пород и вторичных минералов ~60–70%; плотные фрагменты и обломки минералов ~25–30%; пористые стекловатые фрагменты единичны	

Таблица 2 (окончание)

01-16/ январь 2016 г.	>0.063 – 4.25% 0.063–0.125 – 10.63% 0.125–0.250 – 11.7% 0.250–0.5 – 17.02% 0.5–1.0 – 31.91% 1.0–2.0 – 20% <2.0 – 4.49%	Плотные фрагменты и обломки минералов ~60–65%; гидротермально измененные частицы ≤30%; пористые стекловатые фрагменты и пемзовидные частицы ~7%; единственный оскольчатый обломок гомогенного стекла	
02-16/ февраль 2016 г.	>0.063 – 1% 0.063–0.125 – 7% 0.125–0.250 – 31% 0.250–0.5 – 61%	Плотные фрагменты и обломки минералов ~70%; гидротермально измененные частицы ~20%; пористые стекловатые фрагменты и пемзовидные частицы ~5–7%	
03-16/ март 2016 г.	Преобладание пылевой фракции	Плотные фрагменты и обломки минералов ~60–70%; гидротермально измененные частицы ≤20%; пористые стекловатые фрагменты и пемзовидные частицы ~5%	
Материал обрушения сектора конуса в июле 2015 г.			
7650/ рыхлый материал обвала	>0.063 – 1.7% 0.063–0.125 – 5.15% 0.125–0.250 – 24.33% 0.250–0.5 – 20.1% 0.5–1.0 – 16.77% 1.0–2.0 – 31.79%	Обломки гидротермально измененных пород ~70–75%; присутствуют кварц-полевошпатовые агрегаты с вкрапленностью сульфидов; плотные фрагменты ~20–25%; пористые стекловатые фрагменты единичны	
7651-1/ глыбовый материал обвала	Образец раздроблен вручную, преобладают фрагменты размером 0.125–0.250 мм	Пористые и плотные угловатые обломки и немногочисленные фрагменты минералов	

Плотные, лишенные пор, остроугольные частицы (рис. ба) преобладают во всех образцах. Они содержат от 30 до 60% микролитов плагиоклаза и пироксенов (см. рис. бб), изредка в них встречаются округлые выделения кварца. **Пористые** фрагменты (см. рис. бв, бг) также присутствуют в каждом из изученных образцов, однако их количество незначительно – 1–3 зерна среди нескольких сот обломков. Так же, как и плотные обломки, пористые фрагменты содержат микролиты пироксенов и плагиоклаза. В отдельных

пористых частичках были зафиксированы и единичные округлые зерна оливина Fe_{72-84} в тонкой реакционной кайме, сложенной орто- и клинопироксеном ($Mg\# = 72-80$).

Пемзовидные частички были обнаружены в пеплах, изверженных в январе, феврале и марте 2016 г. (см. рис. бд). Эти частички, размером до 0.3–0.4 мм, имеют яркие морфологические отличия от плотных и пористых обломков и обладают иным характером раскристаллизации. В отличие от первых двух типов фрагментов, в которых среди микролитов резко

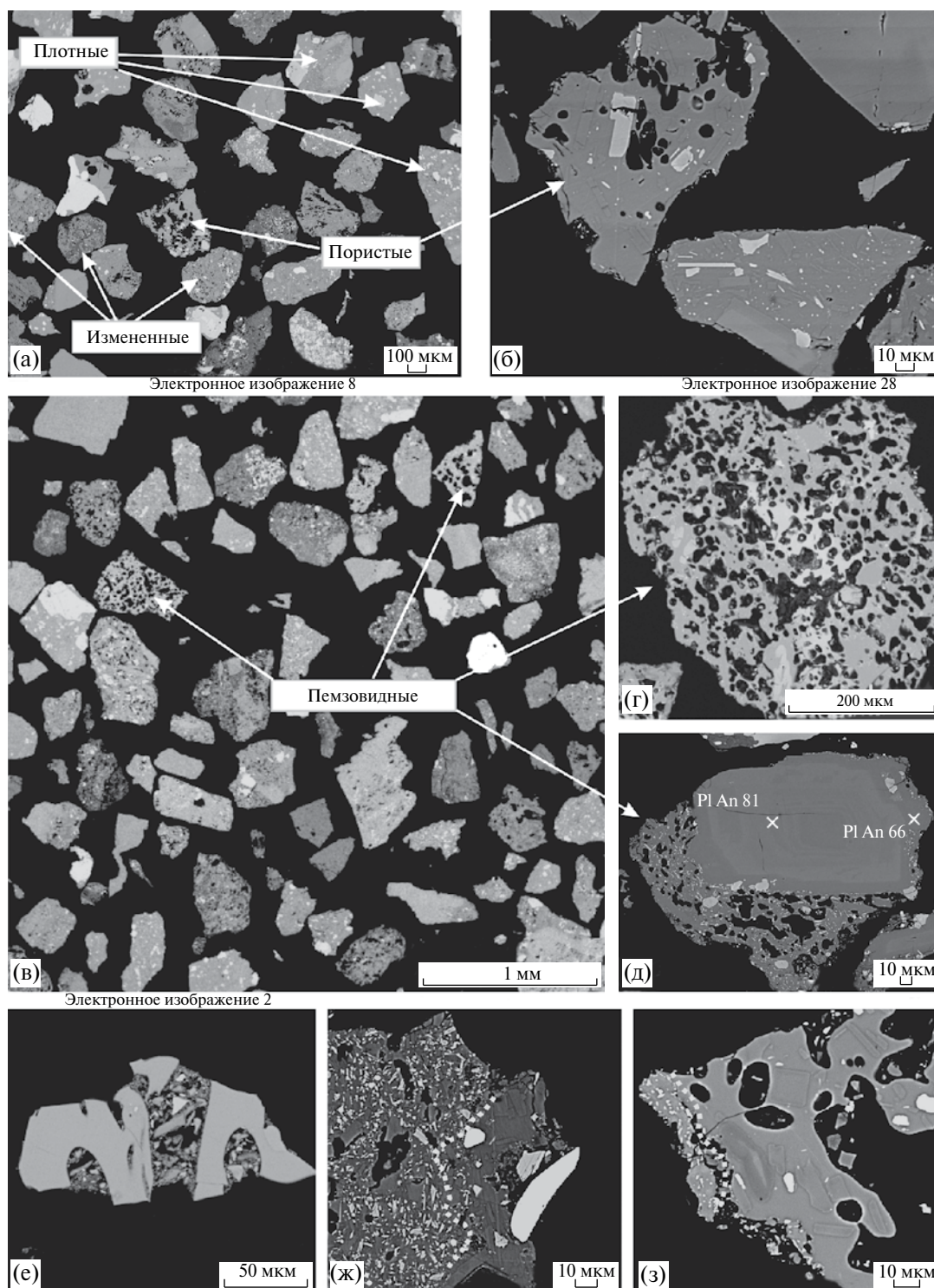


Рис. 4. Типы пепловых частиц в продуктах извержения вулкана Жупановский.

а – плотные, пористые и гидротермально измененные частицы в образце 01-16; б – плотный и пористый фрагменты в образце 01-15; в, г, д – пемзовидные частицы в образце 01-16; е – осколок гомогенного стекла (обр. 01-16); ж, з – пепловые частицы, в которых сочетаются участки с разной текстурой (обр. 02-16). Изображения в режиме отраженных электронов получены при помощи электронного зонда JEOL JXA 8200 и сканирующего электронного микроскопа SEM VEGA TESKAN.

Таблица 3. Химический состав образцов пеллов извержения вулкана Жупановский в 2013–2016 гг. и продуктов обрушения постройки конуса в июле 2015 г.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ опр.	10-13	06-14	12-14	01-15	01/1-15	01/2-15	02-15	03-15	07-15	01-16	01/1-16	01-2/16	02/2-16	02/1-16	02-16	03-16	7650	7651-1	7651-2	7651-3
SiO ₂	57.0	61.0	63.6	65.4	63.7	60.6	59.9	62.5	56.9	61.6	60.8	61	61.6	61.5	60.8	61.4	57.84	58.75	60.47	59.43
TiO ₂	0.73	0.78	0.76	0.75	0.80	0.79	0.75	0.76	0.70	0.81	0.78	0.76	0.77	0.75	0.79	0.73	0.75	0.86	0.82	0.82
Al ₂ O ₃	15.40	16.4	15.70	14.2	15.4	16.7	16.9	16	15.4	16.4	16.3	16.3	16.7	16.4	16.4	16.8	14.50	16.88	16.46	16.76
Fe ₂ O ₃	2.31	0.43	2.23	2.62	1.75	1.77	2.64	2.08	2.16	1.55	1.95	2.13	2.2	1.96	1.92	1.67	—	—	—	—
FeO	3.83	5.27	4.22	3.2	3.84	4.17	3.38	3.4	3.27	4.39	4.36	3.48	3.57	3.78	4.46	3.84	6.58	7.64	6.76	6.79
MnO	0.13	0.12	0.13	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.12	0.12	0.08	0.09	0.87	0.12	0.09	0.10	0.14	0.12	0.13
CaO	6.30	5.78	4.68	4.06	5.28	5.69	6.51	5.32	6.39	5.83	5.89	4.5	5.39	5.34	5.96	5.47	5.96	6.75	6.46	6.83
MgO	4.05	3.04	3.27	1.84	2.77	2.95	3.42	2.54	2.33	2.51	2.67	1.83	2.02	1.87	2.94	2.2	3.23	3.59	3.34	3.57
Na ₂ O	3.17	3.43	3.27	2.75	3.09	3.82	3.91	3.33	3.3	3.38	3.21	2.90	3.32	3.19	3.35	3.57	2.81	3.54	3.78	3.76
K ₂ O	1.13	1.28	1.15	1.02	1.16	1.25	1.35	1.21	1.17	1.35	1.17	1.11	1.22	1.19	1.23	1.27	1.19	1.31	1.49	1.42
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.14	0.13	0.131	0.14	0.12	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.13	0.14	0.16	0.17
П.п.п.	4.33	1.96	0.86	3.35	1.8	1.79	0.89	2.36	6.77	1.27	2.28	5.04	2.98	3.27	1.59	2.42	6.7	0.2	0.1	0.1
Сумма	98.52	99.64	100	99.4	99.79	99.8	99.9	99.7	98.62	99.35	99.65	99.26	100	99.49	99.7	99.6	99.85	99.83	99.83	99.83
S	1.42	0.21	0.05	0.52	0.11	0.08	0.01	0.18	1.19	0.67	0.32	0.67	0.39	0.44	0.24	0.27	—	—	—	—

Примечание. Образцы № п/п с 1 по 16 соответствуют пещам наиболее крупных эксплозивных событий 2013–2016 гг., образцы № п/п с 17 по 20 характеризуют продукты обрушения сектора конуса в июле 2015 г.



Рис. 5. Классификационная диаграмма SiO_2 – K_2O для продуктов извержения конуса Приемыш в 2013–2016 гг. Поля составов пород вулкана Жупановский приведены по данным работ [Пузанков и др., 2016; Базанова и др., 2009].

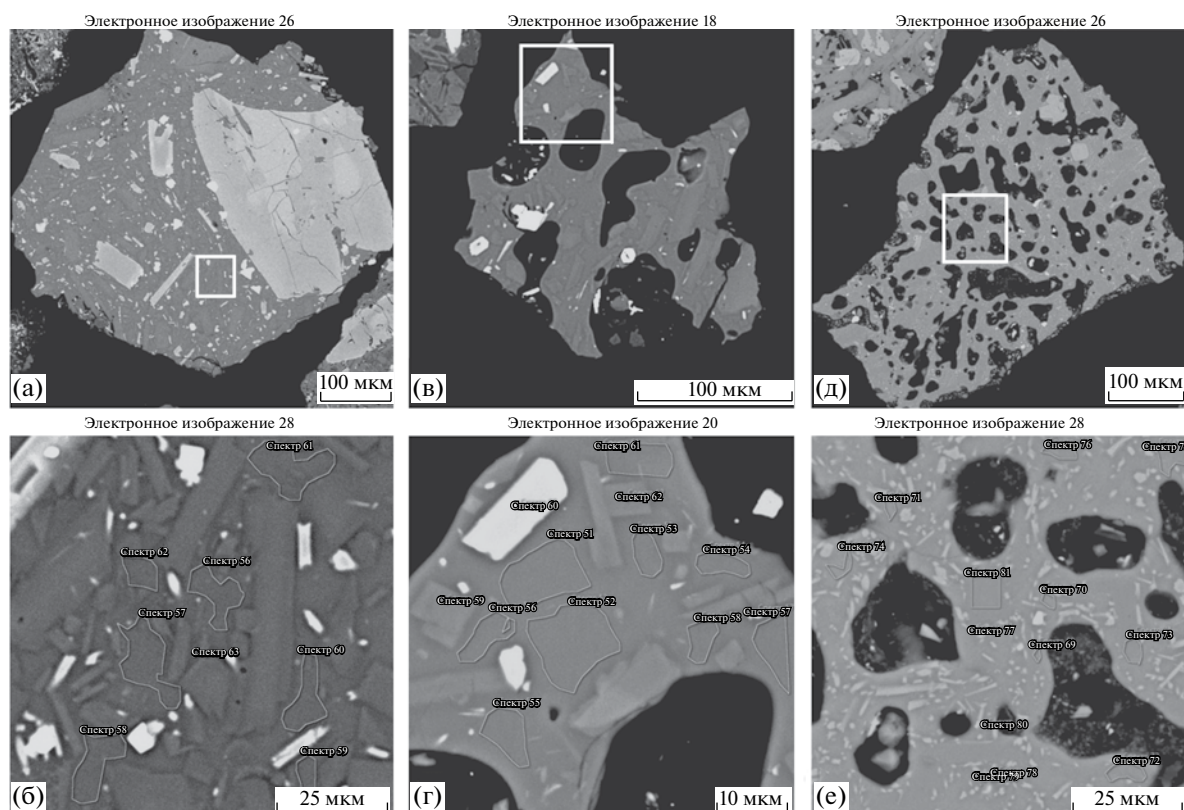


Рис. 6. Характер раскристаллизации различных типов стекловатых фрагментов в пеплах, изверженных в январе 2016 г. а, б — плотные обломки, в, г — пористые обломки; д, е — пемзовидные частички.

преобладает плагиоклаз (см. рис. 6б, 6г), пемзовидные фрагменты насыщены мельчайшими микролитами пироксенов (см. рис. 6е). Количество пемзовидных частичек — до десяти на две сотни зерен. Некоторые из таких частичек содержат кристаллы

зонального высоко-кальциевого плагиоклаза (см. рис. 4д) и пироксена. В этих же образцах, которые соответствуют эксплозивным событиям начала 2016 г., были найдены и единичные фрагменты гомогенного вулканического стекла (см. рис. 4е), а также пепловые

Таблица 4. Представительные анализы вулканических стекол в продуктах извержения вулкана Жупановский в 2013–2016 гг.

№ обр.	Тип фрагмента	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO*	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	SO ₃	Cl	Сумма
10-13	плотный	71.67	0.55	12.97	0.03	2.53	0.31	1.88	4.07	3.16	0.08	0.14	0.00	0.14	97.53
	плотный	73.86	0.44	13.35	0.04	1.36	0.10	1.73	4.13	3.21	0.06	0.09	0.00	0.13	98.51
	плотный	75.66	0.56	11.20	0.08	1.42	0.11	0.73	3.47	3.95	0.10	0.20	0.00	0.16	97.65
	пористый	71.48	0.66	13.40	0.11	2.51	0.35	2.03	3.98	3.08	0.06	0.02	0.02	0.17	97.87
	пористый	73.60	0.63	12.54	0.09	2.84	0.41	1.61	3.88	3.20	0.09	0.05	0.02	0.14	99.10
	пористый	74.77	0.55	12.43	0.06	1.66	0.10	1.12	3.69	3.53	0.09	0.13	0.00	0.19	98.31
06-14	плотный	74.01	0.65	13.42	0.05	2.45	0.19	1.93	4.29	3.08	0.09	0.03	0.01	0.07	100.28
	плотный	75.18	0.62	12.30	0.09	2.47	0.43	1.43	3.86	3.23	0.06	0.04	0.02	0.13	99.85
	плотный	77.82	0.64	10.87	0.05	1.45	0.10	0.45	3.33	4.48	0.08	0.00	0.00	0.12	99.40
	пористый	71.28	0.84	13.10	0.11	3.92	0.76	2.40	3.95	2.99	0.21	0.02	0.01	0.11	99.72
	пористый	74.78	0.71	12.36	0.06	2.80	0.38	1.56	4.05	3.22	0.07	0.13	0.02	0.12	100.26
	пористый	76.47	0.68	12.51	0.06	2.54	0.42	1.69	1.63	3.15	0.22	0.02	0.00	0.14	99.52
12-14	плотный	72.88	0.61	12.73	0.07	2.53	0.41	1.75	4.03	3.11	0.12	0.02	0.00	0.16	98.42
	плотный	73.80	0.62	12.23	0.10	2.18	0.32	1.69	4.21	3.21	0.20	0.12	0.02	0.15	98.85
	плотный	75.39	0.59	12.12	0.04	1.62	0.15	1.08	4.01	3.29	0.06	0.08	0.01	0.17	98.61
	пористый	69.77	0.83	13.14	0.16	3.29	0.72	2.40	4.00	3.12	0.20	0.05	0.03	0.22	97.94
	пористый	72.13	0.67	12.85	0.10	2.72	0.44	1.81	4.12	3.15	0.20	0.09	0.02	0.18	98.49
	пористый	73.75	0.55	12.21	0.05	2.41	0.48	1.49	4.01	3.18	0.06	0.11	0.02	0.14	98.46
01-15	плотный	73.77	0.61	13.16	0.01	2.08	0.30	1.87	4.28	2.99	0.04	0.06	0.01	0.09	99.27
	плотный	75.21	0.74	11.38	0.05	2.63	0.32	1.10	3.68	3.84	0.14	0.04	0.01	0.08	99.22
	плотный	76.72	0.64	11.44	0.05	2.06	0.26	0.89	3.77	3.47	0.00	0.01	0.00	0.10	99.41
	пористый	71.75	0.78	12.50	0.05	3.27	0.67	2.26	3.99	3.08	0.17	0.20	0.01	0.14	98.87
	пористый	72.35	0.79	12.87	0.05	3.48	0.71	2.24	3.92	3.03	0.21	0.22	0.00	0.15	100.03
	пористый	74.66	0.68	11.74	0.07	2.66	0.37	1.14	3.90	3.48	0.10	0.05	0.03	0.08	98.96
07-15	плотный	75.23	0.60	12.40	0.04	1.80	0.13	1.57	4.18	3.24	0.06	0.00	0.01	0.08	99.33
	плотный	76.45	0.71	10.88	0.02	1.95	0.13	0.89	3.63	3.81	0.18	0.03	0.02	0.08	98.77
	плотный	76.53	0.72	11.16	0.05	0.68	0.05	0.57	3.39	3.80	0.12	0.10	0.00	0.01	97.18
	пористый	72.69	0.65	12.30	2.51	0.11	0.42	1.59	3.98	3.07	0.05	0.09	0.05	0.14	97.62
	пористый	74.51	0.58	12.26	2.13	0.05	0.25	1.42	3.91	3.31	0.09	0.05	0.02	0.12	98.69
01-16	плотный	74.81	0.52	13.56	0.00	1.29	0.05	1.82	4.43	3.40	0.06	0.00	0.01	0.07	100.02
	плотный	77.74	0.70	10.72	0.03	1.54	0.35	0.65	3.80	4.04	0.00	0.07	0.01	0.10	99.74
	пористый	72.86	0.64	12.45	0.00	2.79	0.57	1.67	3.54	3.42	0.08	0.38	0.01	0.10	98.50
	пористый	75.05	0.47	12.03	0.00	2.24	0.40	1.16	3.72	3.31	0.06	0.07	0.01	0.14	98.65
	пористый	75.98	0.30	11.87	0.03	1.57	0.20	0.81	3.04	4.12	0.02	0.00	0.02	0.04	98.00
	пемзовидный	63.53	1.00	12.34	0.17	6.56	3.11	3.36	2.76	2.14	0.24	1.06	0.48	0.16	96.92
	пемзовидный	67.69	0.93	14.61	0.10	4.16	1.38	4.01	3.73	2.27	0.16	0.00	0.02	0.10	99.17
	пемзовидный	68.00	0.97	13.87	0.14	4.27	1.19	3.84	4.20	1.99	0.21	0.00	0.44	0.10	99.21

Таблица 4 (окончание)

№ обр.	Тип фрагмента	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO*	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	SO ₃	Cl	Сумма
02-16	плотный	75.14	0.41	12.15	0.02	2.16	0.24	1.51	3.79	3.45	0.06	0.06	0.01	0.08	99.08
	плотный	78.32	0.37	11.76	0.05	0.72	0.04	1.27	3.74	3.26	0.02	0.00	0.01	0.01	99.57
	пористый	73.55	0.68	13.01	0.04	2.36	0.63	2.33	3.57	3.75	0.13	0.08	0.01	0.11	100.25
	пористый	75.63	0.17	13.68	0.00	0.82	0.07	0.92	4.37	4.70	0.03	0.02	0.00	0.03	100.45
	пористый	76.01	0.19	12.93	0.06	0.96	0.01	0.68	3.78	4.90	0.00	0.05	0.01	0.04	99.61
	пемзовидный	66.17	0.62	14.55	0.13	5.26	1.97	4.76	4.33	2.08	0.19	0.05	0.00	0.11	100.24
	пемзовидный	68.49	0.97	14.46	0.01	4.02	1.02	3.75	4.19	2.72	0.25	0.04	0.00	0.15	100.07
	пемзовидный	70.88	0.80	14.36	0.00	3.47	0.54	3.05	4.27	2.68	0.21	0.06	0.00	0.10	100.43
03-16	плотный	74.35	0.69	11.59	0.03	3.02	0.63	1.19	2.97	4.03	0.15	0.01	0.03	0.10	98.78
	плотный	76.05	0.69	11.26	0.00	2.22	0.18	0.66	3.10	4.33	0.05	0.01	0.01	0.01	98.57
	плотный	78.62	0.64	11.51	0.04	0.96	0.25	0.59	3.64	3.82	0.05	0.07	0.02	0.12	100.32
	пористый	73.88	0.60	13.54	0.04	1.23	0.08	1.71	4.30	3.35	0.14	0.08	0.03	0.11	99.10
	пористый	75.31	0.62	11.51	0.03	1.96	0.18	0.59	4.03	3.65	0.07	0.00	0.02	0.12	98.10
	пористый	76.29	0.57	11.56	0.07	1.09	0.03	0.54	3.84	3.91	0.06	0.00	0.00	0.05	98.01
	пемзовидный	66.02	0.95	13.71	0.07	5.18	1.46	3.57	3.98	2.43	0.21	0.01	0.00	0.15	97.76
	пемзовидный	67.96	1.00	13.96	0.12	4.71	1.17	3.64	4.09	2.45	0.25	0.02	0.00	0.15	99.53
7651-1	пористый	73.27	0.51	12.78	0.02	2.26	0.43	1.52	4.29	3.33	0.06	0.11	0.02	0.12	98.72
	пористый	74.84	0.51	11.73	0.02	1.76	0.28	1.20	3.95	3.22	0.03	0.03	0.00	0.06	97.63
	пористый	75.33	0.54	11.92	0.00	2.12	0.29	1.26	3.88	3.24	0.05	0.09	0.00	0.09	98.81
	пористый	76.10	0.56	11.69	0.08	1.74	0.24	1.22	3.95	3.33	0.09	0.07	0.01	0.08	99.17

частицы, в которых сочетаются в различной степени раскристаллизованные участки (см. рис. 4ж, 4з).

Представительные составы вулканических стекол плотных, пористых и пемзовидных частичек пеплов приведены в таблице 4. На рис. 7 показаны составы стекол в координатах SiO₂-K₂O, SiO₂-CaO, SiO₂-MgO и SiO₂-Cl. Для сравнения показаны также составы интерстициальных стекол пород постройки конуса из образца 7651-1, отобранного на обвальном поле. Составы большинства плотных и пористых фрагментов идентичны и отвечают риолитам, пемзовидные частички на графике занимают область дацитов. Все составы следуют единому тренду, за исключением хлора, поведение которого различно для частиц с различным содержанием SiO₂. Частички с риолитовым составом стекла (плотные, пористые и фрагменты пород постройки) следуют тренду снижения содержания

хлора при понижении содержания кремнекислоты. Для пемзовидных частичек такой тренд является менее выраженным.

На всех графиках в интервале содержания кремнекислоты 74–78 масс.% составы интерстициальных стекол пород постройки конуса идентичны составам стекол плотных и пористых фрагментов пеплов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Идентификация ювенильного материала

Ключевой проблемой для понимания механизма и характера эксплозивного извержения является определение наличия ювенильного магматического материала в его продуктах. Извержения, в продуктах которых ювенильный материал отсутствует,

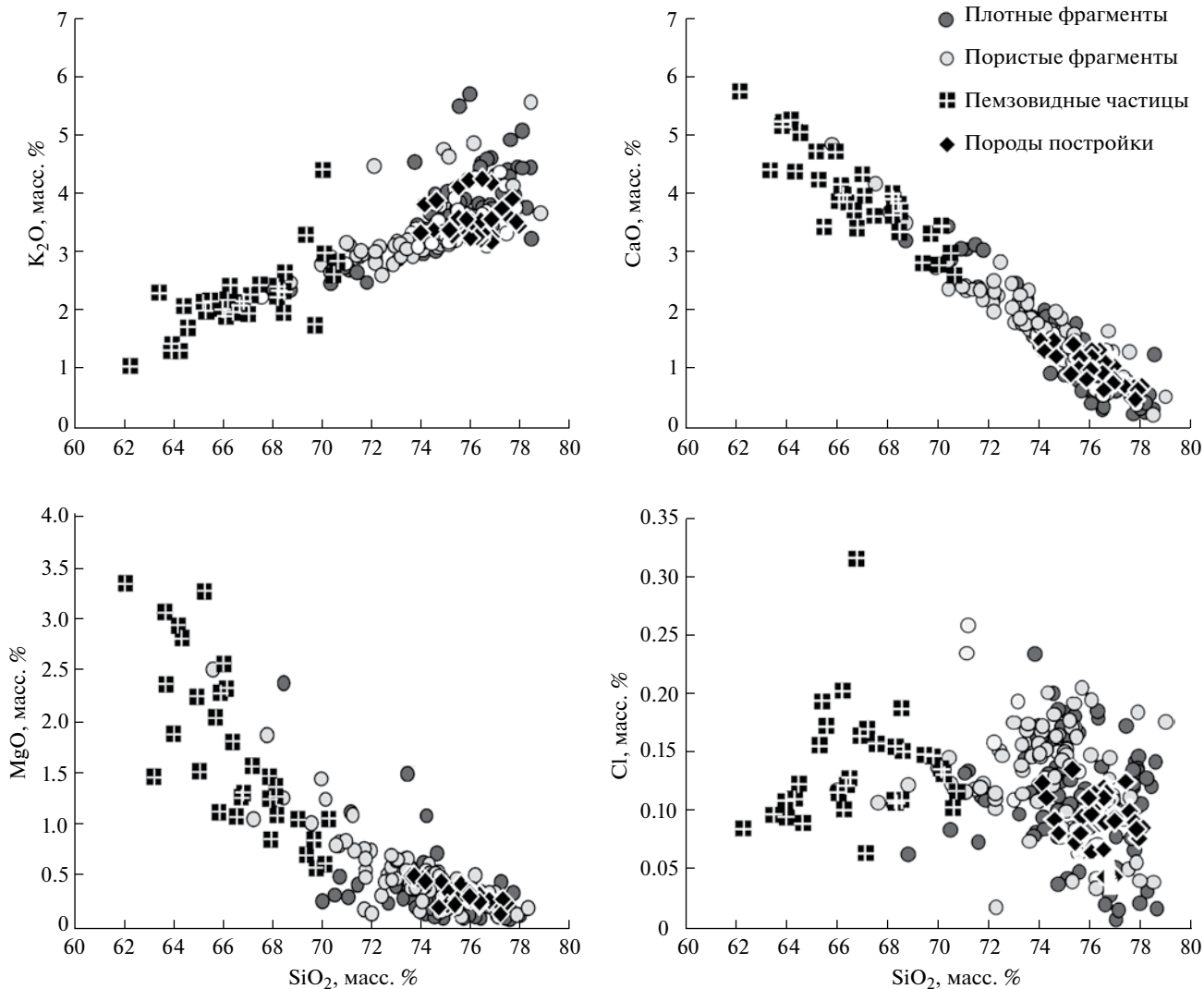


Рис. 7. Химический состав вулканических стекол продуктов извержения в 2013–2016 гг. Для построения диаграмм использованы составы стекол, пересчитанные на безводный остаток.

относят к фреатическим. Такие извержения вызваны увеличением давления в гидротермальной системе вулкана [Varberi et al., 1992 и др.], а их продукты (пеплы, баллистические обломки, а иногда и пирокластические потоки) сложены исключительно обломочным материалом постройки и продуктами гидротермальной деятельности. Фреато-магматические извержения связаны с процессом внедрения и подъема магмы и ее реакцией с подземными водами и гидротермальными флюидами. Диагностическим признаком таких извержений является обнаружение фрагментов ювенильного материала в изверженных продуктах.

Для идентификации ювенильного материала наиболее часто привлекаются методы текстурного и петрологического изучения пепловых частиц. Как правило, ювенильные частицы представлены осколками тонких стекловатых

перегородок (рис. 8а), которые разделяли газовые пузырьки в магме, обломками с “рваными” краями (см. рис. 8б) или же сильно пористыми (см. рис. 8в) шлаковыми или пемзовыми фрагментами [Пономарева и др., 2012; Liu et al., 2015]. Частички резургентного материала или продукты фреатической деятельности, как правило, лишены пор и имеют остроугольную форму (см. рис. 8г).

Определение химического состава вулканического стекла при помощи высокоточного электронно-зондового анализа является еще одним эффективным методом выделения ювенильного материала. Наиболее уверенно определяется ювенильный материал в том случае, если присутствует популяция обломков с четко выраженным составом стекла и определенной морфологией и текстурой [Pardo et al., 2014]. Однако если стекла нового извержения близки по составу продуктам предшествующих

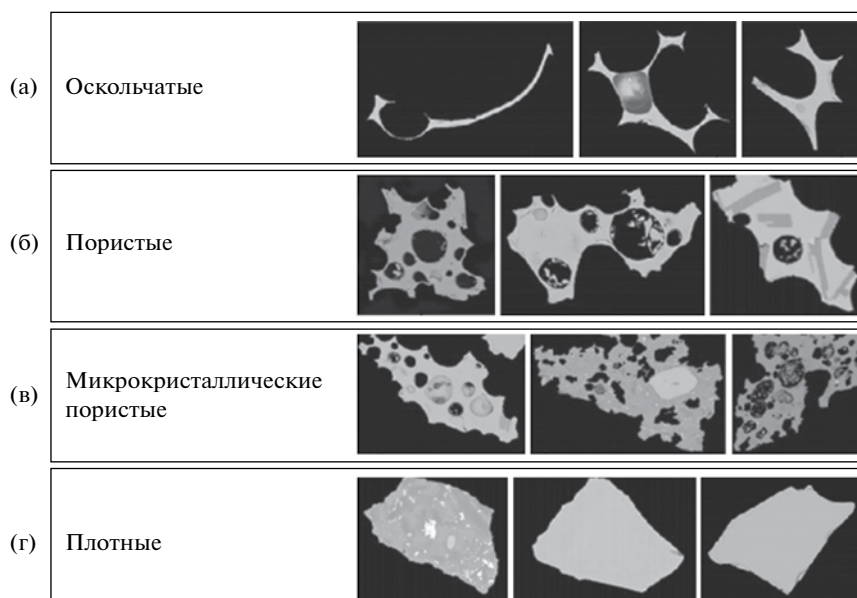


Рис. 8. Типы вулканических стекол, по [Liu et al., 2015].

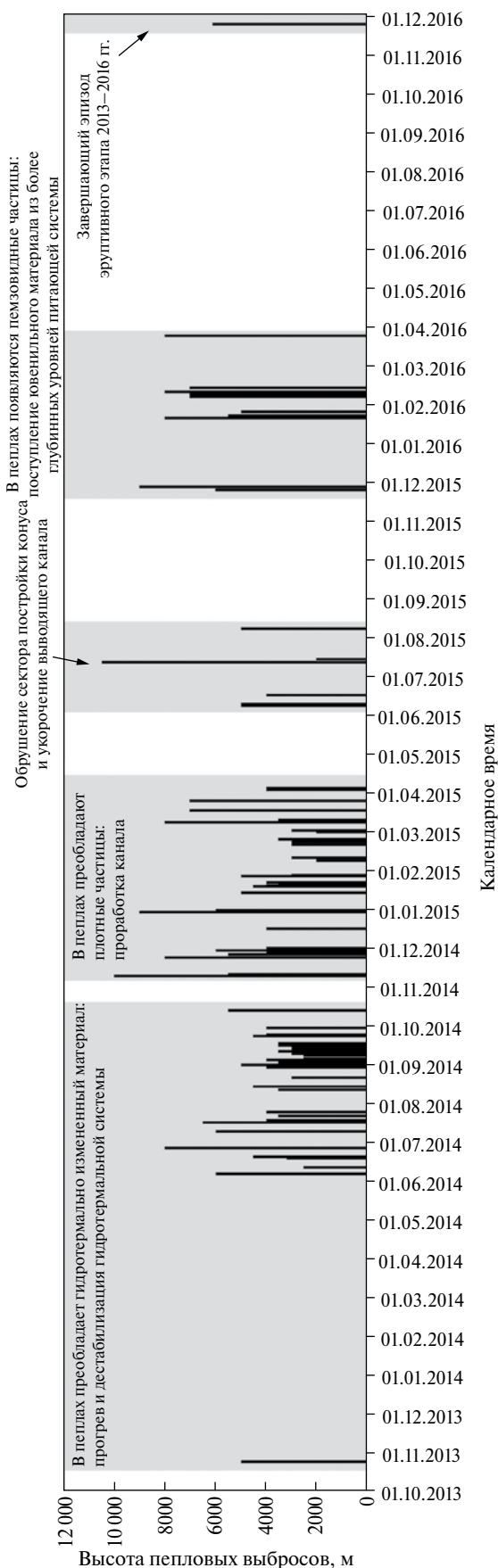
извержений, то идентификация ювенильного материала становится трудной задачей. К примеру, при характеристике пеплов текущего (2010–2016 гг.) извержения вулкана Турриальба в Коста-Рике было показано, что состав пепловых частиц идентичен продуктам предшествующего крупного извержения и поступление новой магмы является предметом дискуссии [de Moor et al., 2016; Alvarado et al., 2016].

Из трех типов фрагментов, выделенных в продуктах извержения вулкана Жупановский, только пемзовидные частички в пеплах, изверженных в январе–марте 2016 г., уверенно идентифицируются как ювенильные. Вулканические стекла этих частиц имеют дацитовый состав, отличающийся от предыдущих стекол, а их морфологические особенности отвечают всем критериям определения ювенильного материала.

Происхождение пористых фрагментов с риолитовым составом стекла, присутствующих в каждом образце извержений 2014–2015 гг., не имеет однозначной интерпретации. Морфологические особенности этих частиц указывают на ювенильное происхождение. Вместе с тем химический состав их стекла неотличим от состава стекла плотных фрагментов (см. рис. 7), а раздробленный вручную образец лавы с обвального поля имеет не только аналогичный состав стекла, но и очень сходный облик (см. табл. 2, обр. 7651-1). Однако отсутствие вторичных изменений пористых фрагментов и единичные находки в образцах 01-16 и 03-16 (январь и март 2016 г.) оскольчатого гомогенного риолитового вулканического стекла (см. рис. 4е) с большей вероятностью свидетельствуют в пользу

ювенильного происхождения частиц с риолитовым составом стекол.

Вопрос о происхождении плотных фрагментов также неоднозначен. Они могут происходить как в результате дробления пород постройки – вершинных лав и/или же обнажившегося при обвале нека и его глубинных частей, так и быть связаны с остывающей на малой глубине порцией магмы. С одной стороны, идентичность состава вулканического стекла из плотных фрагментов и интерстициальных стекол из лав постройки вулкана свидетельствует в пользу того, что плотные фрагменты могут быть образованы за счет дробления лав, слагающих постройку конуса. Однако нельзя исключать, что плотные частички могут иметь принадлежность к верхним дегазированным горизонтам магматической колонны (или очага), которые находятся на небольших глубинах. Как показано в работе [Cashman, Hoblitt, 2004] процессы дегазации и декомпрессионной кристаллизации, сопровождающие медленный подъем магмы и ее остановку на небольших глубинах, осложняют процессы идентификации ювенильного материала. Эти процессы приводят к обильной кристаллизации микролитов и высокой плотности пепловых частиц. Кроме того, согласно экспериментальным данным в работе [Hammer, Rutherford, 2002], в условиях медленного подъема магмы формируются микролиты с сильно варьирующими размерами. Именно такими характеристиками и обладает большинство плотных частиц – количество микролитов плагиоклаза достигает 60%, а их размеры сильно варьируют (см. рис. 6а, 6б).



Согласно [Blundy, Cashman, 2001], присутствие кварца и плагиоклаза в основной массе породы и высокое (более ~75 масс.%) содержание SiO_2 в вулканических стеклах является показателем близповерхностных (≤ 50 МПа) условий кристаллизации. Такие условия отвечают малым глубинам ≤ 2 км. Если считать плотные кварцсодержащие фрагменты с высоко- SiO_2 составом стекла продуктами этапа активности 2013–2016 гг., то их кристаллизация должна была происходить фактически в основании вулканической постройки. Как будет показано далее, такое заключение не согласуется с особенностями динамики извержения, что является аргументом в пользу обоснования резургентного происхождения плотных частиц.

Анализ динамики извержения и его предполагаемый механизм

Отсутствие признаков экструзивной или эффузивной активности при достаточно продолжительной эксплозивной деятельности, обилие гидротермального материала в пеплах, обрушение сектора постройки активного конуса — наиболее яркие черты извержения вулкана Жупановский в 2013–2016 гг. Малое количество материала, которое уверенно определяется как ювенильный, указывает на то, что основным триггером извержения была интенсивная дегазация внедрившейся, но не изверженной на поверхность магмы. При рассмотрении таких извержений обычно предполагаются два основных сценария — внедрение магмы на малые глубины или же ее интрузия в более глубокие уровни питающей системы [Moran et al., 2011].

Сопоставим данные об эксплозивной активности в 2013–2016 гг. (рис. 9) и особенности составов пеплов из таблицы 2. В продуктах первого эпизода извержения в октябре 2013 г. содержится максимальное количество гидротермально измененного материала. Пепел, отобранный в непосредственной близости от центра извержения (см. табл. 1, табл. 2, обр. 10–13), характеризуется преимущественно тонкими размерами, что типично для фреатических извержений [Barberi et al., 1992]. Наиболее вероятно, что начальный эпизод извержения имел фреатический характер и ретроспективно его можно рассматривать как предвестник последующей активности.

←

Рис. 9. Эксплозивная активность вулкана в 2013–2016 гг. и основные характеристики пеплов. Данные о времени и мощности эксплозивных событий приведены согласно результатам мониторинга Камчатской группы реагирования на вулканические извержения <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/> и лаборатории исследований сейсмической и вулканической активности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН <http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>.

В продуктах пепловых выбросов летом 2014 г. также наблюдалось преобладание гидротермально измененного материала. Этот период извержения характеризуется умеренными по силе эксплозивными событиями – высота выбросов редко превышает 4–6 км над у.м. С ноября 2014 г. мощность отдельных выбросов растет (см. рис. 9), а в пеплах этого этапа активности начинают преобладать плотные фрагменты. Вероятно, в этот период начинается проработка более глубоких частей вулканического канала и происходит переход от фреатической к фреато-магматической стадии извержения.

В результате обрушения сектора постройки в июле 2015 г. произошло снятие литостатической нагрузки в верхней части питающей системы и укорочение вулканического канала на 500 м. В случае нахождения магмы на малых глубинах резкая декомпрессия, как правило, приводит к быстрому переходу извержения в магматическую стадию. Наиболее яркими примерами такого процесса являются извержения вулкана Безымянный в 1956 г. и вулкана Сент-Хеленс в 1980 г. Тот факт, что после обрушения сектора конуса Приемыш следующий эпизод активности последовал только через четыре месяца, вероятно, можно рассматривать как косвенное свидетельство отсутствия магмы на малых глубинах.

В период с конца ноября 2015 г. по март 2016 г. происходили относительно редкие, но мощные эксплозивные события. В пеплах этого периода был зафиксирован новый тип ювенильных частиц с дацитовым составом вулканического стекла. Вероятно, декомпрессия верхней части питающей системы вулкана в результате обрушения сектора постройки конуса в июле 2015 г. способствовала вовлечению в процесс извержения материала более глубоких уровней питающей системы.

Эксплозивное событие, которое произошло 20 ноября 2016 г., отделено от предыдущего этапа активности временным промежутком в 8 месяцев. Изолированный во времени характер события (см. рис. 9) и отсутствие сейсмической подготовки сближает его с первым эпизодом активности в октябре 2013 г. Наиболее вероятно, что это событие имело фреатический характер и завершало эруптивный этап 2013–2016 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эруптивная активность вулкана Жупановский в 2013–2016 гг. имела преимущественно фреато-магматический характер, признаки магматической активности – эффузивной или экструзивной не были зафиксированы. Основными компонентами пеплов являются гидротермально измененный материал и плотные хорошо раскристаллизованные частицы, происхождение которых, наиболее

вероятно, связано с дроблением пород, слагающих постройку и основание вулкана. Ювенильный материал – пористые и пемзовидные частицы присутствуют в продуктах извержения в небольшом количестве. Максимальное содержание таких частиц (до 5–7%) зафиксировано в образцах пеплов, изверженных в январе–марте 2016 г. В пеплах этого периода извержения был обнаружен новый тип частиц, отличающийся по морфологии, текстурным особенностям и составу вулканического стекла от изверженных ранее. Предполагается, что декомпрессия верхней части питающей системы вследствие обрушения сектора постройки активного конуса в июле 2015 г. могла способствовать вовлечению в процесс извержения материала глубинных уровней питающей системы.

Авторы благодарят сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Я.Д. Муравьева, А.Г. Маневича, А.Ю. Федосеева и сотрудника Природного Парка “Налычево” С.М. Волосынина за своевременный и тщательный отбор образцов пеплов, а также Марио Тернера за помощь при выполнении электронно-зондового анализа в Helmholtz Centre for Ocean Research (GEOMAR).

Работа выполнена в рамках программ НИР ИВиС ДВО РАН и ГЕОХИ РАН при частичной поддержке полевых и аналитических работ из грантов РФФИ (№ 15-05-06440) и РНФ (№ 16-07-10035).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базанова Л.И., Дирксен О.В., Кулиш Р.В., Карташова Е.В. Эволюция новейшего вулканизма Жупанова хребта (Камчатка) // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии / Отв. ред. Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 265–268.
- Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Эксплозивная активность вулкана Жупановский в 2016 г. // Материалы XIX региональной научной конференции “Вулканизм и связанные с ним процессы”, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 24–34.
- Горбач Н.В., Самойленко С.Б., Плечова А.А., Мельников Д.В. Обвал на вулкане Жупановский (Камчатка) в июле 2015 г.: первые данные и наблюдения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. № 27. С. 5–11.
- Горшков А.П., Слезин Ю.Б. Тепловая мощность и состояние вулкана Жупановский в 1970 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1972. № 48. С. 29–32.
- Ермаков В.А., Вольнец О.Н., Сапожников Е.А. Дзензур-Жупановская группа вулканов // Бюлл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 36–41.

- Литвинов А.Ф., Бурмаков Ю.А.* Геологическое строение и четвертичный вулканизм Жупанова хребта (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 16–26.
- Маневич Т.М., Горбач Н.В., Самойленко С.Б.* Количественные характеристики и состав пеплов вулкана Жупановский в 2013–2015 гг. // XVIII ежегодная научная конференция, посвященная Дню вулканолога “Вулканизм и связанные с ним процессы”, 30 марта–1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский, 2015. http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/conferences/documents/tezis_2015.pdf
- Масуренков Ю.П., Флоренский И.В., Мелекесцев И.В.* Вулкан Жупановский // Действующие вулканы Камчатки / В 2-х томах. М.: Наука, 1991. Т. 2. С. 216–225.
- Пийн Б.И.* О вершине Жупановской сопки и о недавнем извержении этого вулкана // Бюлл. вулканол. станций. 1947. № 11. С. 14–21.
- Плечова А.А., Портнягин М.В., Базанова Л.И.* Происхождение и эволюция исходных магм фронтальных вулканов Камчатки по данным изучения магматических включений в оливине вулкана Жупановский // Геохимия. 2011. № 8. С. 787–812.
- Пономарева В.В., Портнягин М.В., Мельников Д.В.* Состав тефры современных (2009–2011 гг.) извержений вулканов Камчатки и Курильских островов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. № 20. С. 7–21.
- Пузанков М.Ю., Базанова Л.И., Дирксен О.В. и др.* Гибридные лавы конуса Приемыш (Жупановская группа вулканов, Камчатка) // Материалы региональной научной конференции “Вулканизм и связанные с ним процессы”, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 139–145.
- Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Чирков С.А., Маневич Т.М.* Активизация Жупановского вулкана в 2013–2014 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 1. Вып. 23. С. 21–26.
- Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я. и др.* Сейсмичность района вулкана Жупановский в 2000–2015 гг. // Материалы конференции “Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России”, 27 сентября–3 октября 2015 г. Петропавловск-Камчатский, 2015. <http://www.emsd.ru/conf2015lib/pdf/mon/Senyukovetc.pdf>
- Сирин А.Н.* Состояние некоторых вулканов Камчатки в начале 1957 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1958. № 27. С. 16–24.
- Alvarado G., Mele D., Dellino P. et al.* Are the ashes from the latest eruptions (2010–2016) at Turrialba volcano (Costa Rica) related to phreatic or phreatomagmatic events? // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2016. V. 327. P. 407–415.
- Barberi F., Bertagnini A., Landi P., Principe C.* A review on phreatic eruptions and their precursors // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1992. V. 52. № 4. P. 231–246.
- Blundy J., Cashman K.* Ascent-driven crystallisation of dacite magmas at Mount St Helens, 1980–1986 // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2001. V. 140. P. 631–650.
- Cashman K.V., Hoblitt R.P.* Magmatic precursors to the 18 May 1980 eruption of Mount St. Helens, USA // Geology. 2004. V. 32. № 2. P. 141–144.
- de Moor J.M., Aiuppa A., Avarol G. et al.* Turmoil at Turrialba Volcano (Costa Rica): Degassing and eruptive processes inferred from high-frequency gas monitoring // J. of Geophysical Research: Solid Earth. 2016. V. 121. P. 5761–5775. DOI: 10.1002/2016JB013150.
- Alvarado G.E., Mele D., Dellino P. et al.* Are the ashes from the latest eruptions (2010–2016) at Turrialba volcano (Costa Rica) related to phreatic or phreatomagmatic events? // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2016. V. 327. P. 407–415.
- Hammer J.E., Rutherford M.J.* An experimental study of the kinetics of decompression-induced crystallization in silicic melt // J. of Geophysical Research. 2002. V. 107. P. 1–24.
- Liu E.J., Cashman K.V., Rust A.C.* Optimising shape analysis to quantify volcanic ash morphology // GeoRes J. 2015. № 8. P. 14–30.
- Moran S.C., Newhall C., Roman D.C.* Failed magmatic eruptions: Late-stage cessation of magma ascent // Bulletin of Volcanology. 2011. V. 73. № 2. P. 115–122.
- Nakada S., Motomura Y., Shimizu H., Manner of magma ascent at Unzen Volcano (Japan) // Geophysical Research Letters. 1995. V. 22. P. 567–570.*
- Pardo N., Cronina S.J., Németh K. et al.* Perils in distinguishing phreatic from phreatomagmatic ash; insights into the eruption mechanisms of the 6 August 2012 Mt. Tongariro eruption, New Zealand // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2014. V. 286. P. 397–414.
- Portnyagin M., Borisova A.Y., Plechov P. et al.* Magma mixing during the 2010 Eyjafjallajökull eruption // American Geophysical Union. 2011. Fall Meeting. Abstract. V33D-2676.
- Sigmarrsson O., Vlastelic I., Andreasen R. et al.* Remobilization of silicic intrusion by mafic magmas during the 2010 Eyjafjallajökull eruption // Solid Earth. 2011. V. 2. P. 271–281.
- Suzuki Y., Nagai M., Maeno F. et al.* Precursory activity and evolution of the 2011 eruption of Shinmoe-dake in Kirishima Volcano – Insights from ash samples // Earth Planets Space. 2013. V. 65. P. 591–607.
- Taddeucci J., Pompilio M., Scarlato P.* Monitoring the explosive activity of the July–August 2001 eruption of Mt. Etna (Italy) by ash characterization // Geophysical Research Letters. 2002. V. 29. № 8. P. 71–74.
- Watanabe K., Danhara T., Watanabe K. et al.* Juvenile volcanic glass erupted before the appearance of the 1991 lava dome, Unzen volcano, Kyushu, Japan // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1999. V. 89. P. 13–121.