

УДК 551.21

ПАРОКСИЗМАЛЬНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ, КАМЧАТКА, 9 МАЯ 2004 Г.

© 2007 О.А. Гирина^{1,2}, С.В. Ушаков¹, Ю.В. Демянчук¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, girina@kscnet.ru

²Камчатский государственный университет им. В. Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683032

Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч произошло 9 мая 2004 г. В результате серии эксплозий пепловая колонна поднялась до 8-11 км над уровнем моря, пепловый шлейф протянулся в направлении на восток-юго-восток от вулкана до п. Усть-Камчатск и о. Беринга. На южном склоне вулкана образовались отложения двух пирокластических потоков и пирокластических волн. Общий объем пирокластических отложений извержения составил ~ 0.06 км³. Формирование пирокластических потоков вызвало интенсивное таяние снега на южном склоне вулкана. Образовавшийся грязевой поток прошел по р. Бекеш около 30 км, повредил дамбу и полотно дороги п. Ключи – п. Усть-Камчатск.

ВВЕДЕНИЕ

Молодой Шивелуч – один из наиболее активных вулканов Камчатки (рис. 1а на 3 странице обложки). Как самостоятельное образование – вулкан Молодой Шивелуч – был выделен А.А. Меняйловым (1955). Вулкан «возник в самом конце позднего плейстоцена (?) – начале голоцена в позднеплейстоценовой (~ 30 тыс.¹⁴С лет) кальдере Старого Шивелуча» (Мелекесцев и др., 2003, стр. 3). Преобладающим типом пород вулкана являются роговообманковые и пироксеновые андезиты, в небольших объемах встречаются базальты и андезибазальты (Влодавец и др., 1957; Волюнец и др., 1997; Мелекесцев и др., 1991; Мелекесцев и др., 2003; Меняйлов, 1955). В 1980 г. на дне эксплозивного кратера, образовавшегося при катастрофическом извержении вулкана в 1964 г., начал расти новый лавовый купол, формирование которого продолжается до настоящего времени. Абсолютная высота купола, по данным аэрофотосъемки, выполненной В.Н. Двигало 7 октября 2003 г., составляла 2633.3 м (Озеров, Демянчук, 2004). Основание купола находится на абсолютной высоте 1880 м, таким образом, высота постройки лавового купола 7 октября 2003 г. достигала 753.3 м.

В эволюции лавового купола вулкана Молодой Шивелуч наблюдаются три достаточно ярко выраженные стадии, последовательно сменяющие друг друга: 1) *экструзивно-эффузивная* - активное

поступление лавы на поверхность, при котором за короткое время объем купола заметно увеличивается; 2) *экструзивно-эксплозивная* - накопление магматического вещества в недрах вулкана (возможно, формирование криптокупола), сопровождающееся отдельными редкими эксплозиями разной силы, при которых пепел поднимается до 10 км над уровнем моря; 3) *пароксизмальная эксплозивная* – мощное эксплозивное извержение вулкана, при котором пепел выбрасывается на высоту до 20 км над уровнем моря.

Сильные пароксизмальные эксплозивные извержения вулкана, связанные с формированием лавового купола, произошли в 1993 и 2001 гг. 22 апреля 1993 г. пепловые эксплозии поднимались на 16-18 км над уровнем моря, протяженность пирокластических потоков составила 5-8 км и грязевых потоков – 28 км от купола (Хубуная и др., 1995). Экструзивная фаза развития вулкана продолжалась в течение 1993-1995 гг. Между 1995 и 2001 годами происходили отдельные непродолжительные пепловые эксплозии до высоты 10 км над уровнем моря, сопровождавшиеся сейсмическими событиями различной интенсивности (Giрина et al., 2002). Следующее пароксизмальное извержение вулкана произошло 19-22 мая 2001 г. Пепловая колонна поднялась на 10-20 км над уровнем моря, отложения пирокластических потоков протянулись на 18 км и грязевых – до 30 км от вулкана (Федотов и др., 2001; Федотов и др., 2004). Активная экструзивно-эффузивная фаза

развития купола продолжалась в течение 2001-2002 гг., в течение 2002-2004 гг. наблюдались отдельные редкие пепловые выбросы на высоту до 7-9 км над уровнем моря.

Очередное **пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч произошло 9 мая 2004 г.** С января 2004 г. и вплоть до извержения вулкана в мае его сейсмическая активность была достаточно высокой, например, 15 января количество сильных землетрясений с магнитудой 1.7-2.4 достигало 114 в сутки (Сенюков и др., 2005). По сейсмическим и визуальным данным, на куполе достаточно часто отмечались многочисленные раскаленные лавины, формировавшиеся при обрушении неустойчивых блоков купола, а также отдельные пепловые эксплозии, связанные, вероятно, с медленным внедрением магматического вещества в тело купола (возможно, с ростом криптокупола внутри постройки лавового купола). В январе было отмечено 38, феврале – 32, марте – 42, апреле – 30 таких событий, при которых пеплы поднимались, в основном, на высоту до 6.0-7.0 км над уровнем моря. В апреле было зарегистрировано 3 пепловых эксплозии до высоты 8.0-9.0 км над уровнем моря. Пепловые шлейфы протягивались от вулкана на 10-100 км преимущественно на восток и запад. Раскаленные лавины спускались иногда на расстояние до 1-2 км от купола, как, например, 11 и 21 января (материал лавин отложился тогда в юго-восточном секторе вулкана). На спутниковых снимках в районе купола непрерывно отмечалась термальная аномалия размером от 1 до 20 пикселей.

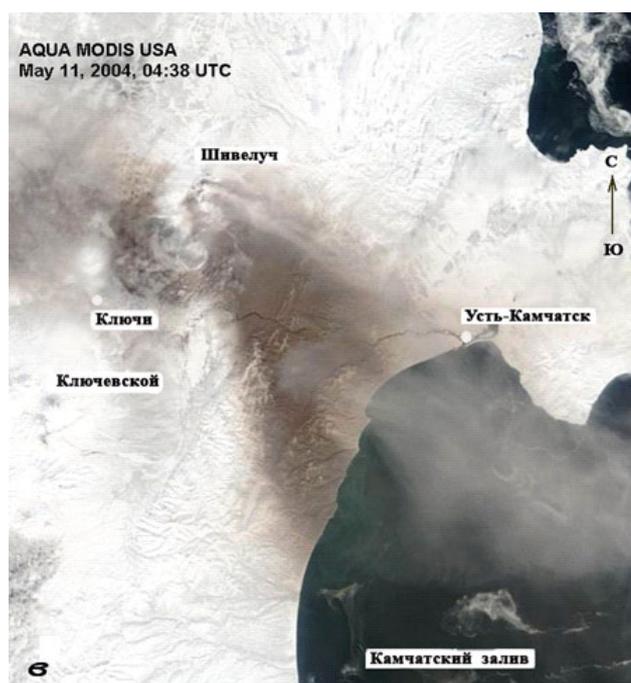
Непосредственно перед пароксизмальным извержением вулкана его активность продолжала оставаться высокой. Четких предвестников готовящегося сильного эксплозивного извержения вулкана не было отмечено (Сенюков и др., 2005). Амплитуда прерывистого спазматического вулканического дрожания была на уровне 0.2-0.4 мкм/с.



Рис. 1. Вулкан Молодой Шивелуч (а); эруптивная колонна и шлейф при извержении вулкана Шивелуч 9 мая 2004 г. (б). Фото Ю.В. Демянчука. Пепловый шлейф, протянувшийся на юго-восток от вулкана Шивелуч. Спутниковый снимок AQUA MODIS от 04:38 UTC 11 мая 2004 г. (в).

По сейсмическим и визуальным данным, 1-2 и 4-6 мая было зарегистрировано по два пепловых выброса, 7 мая – один выброс на высоту до 5.5-7.0 км над уровнем моря. По спутниковым данным, 1-8 мая в районе вулкана постоянно фиксировалась термальная аномалия размером от 1 до 14 пикселей.

По данным Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН (<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>), 9 мая с 12:10 UTC (Coordinated Universal Time – время по Гринвичу) отмечалось усиление вулканического дрожания купола, а в 13:10 UTC началось пароксизмальное эксплозивное извержение вулкана Молодой Шивелуч. С 13:10 до 18:30 UTC происходила наиболее активная фаза извержения. Амплитуда непрерывного спазматического вулканического дрожания составляла в это время около 15 мкм/с (здесь и далее приводятся данные по сейсмической станции «SVL», располагавшейся в 8.5 км от купола, или же пересчитанные к ней по другим станциям) (Сенюков и др., 2005). По видео и визуальным наблюдениям, серии пепловых выбросов достигали высоты 8.0-11.0 км над уровнем моря, густой пепловый шлейф протягивался на восток-юго-восток от вулкана в сторону п. Усть-Камчатск (рис. 1б). В 20:00 UTC было зарегистрировано сейсмическое событие, возможно, сопровождавшее новую серию газопепловых выбросов до высоты 10.0 км над уровнем моря. С 20:40 UTC 9 мая до 08:50 UTC 10 мая амплитуда вулканического дрожания снизилась до 0.3 мкм/с и вновь возросла до 5-6 мкм/с с 08:50 до 10:36 UTC 10 мая. В дальнейшем амплитуда дрожания находилась в пределах 0.5-0.7 мкм/с (Сенюков и др., 2005). По видео и визуальным данным, в



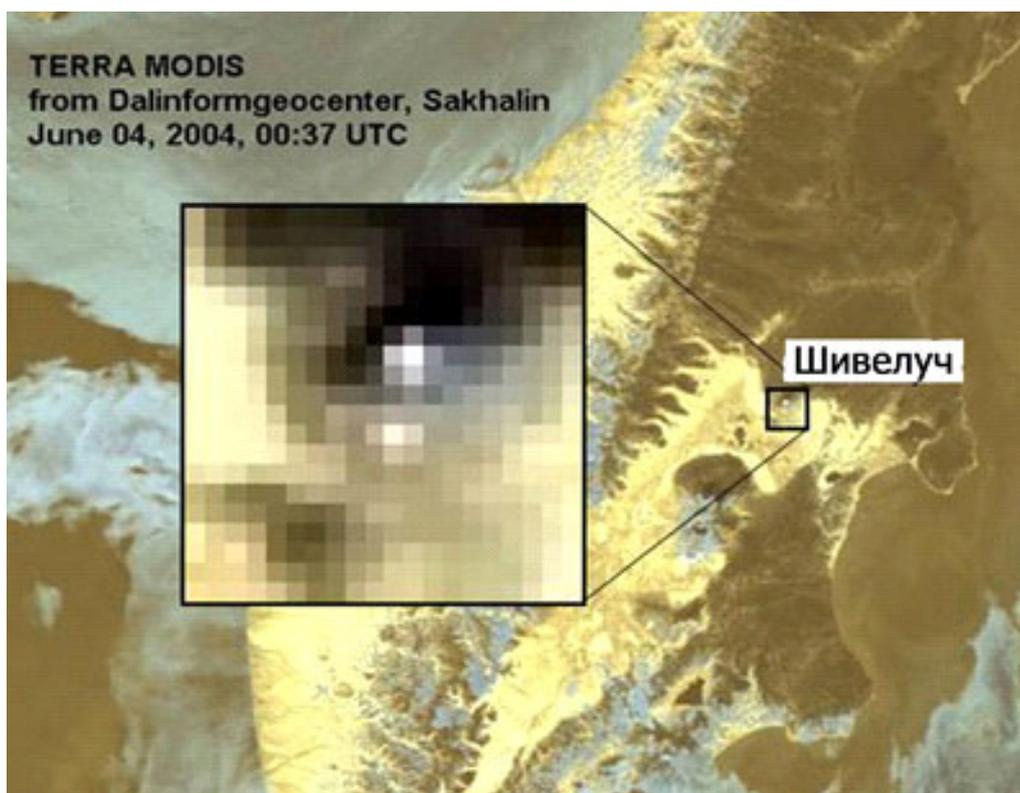


Рис. 2. Двойная термальная аномалия в районе вулкана Шивелуч в 00:37 UTC 4 июня 2004 г.: над лавовым куполом и пирокластическим потоком на спутниковом снимке TERRA MODIS.

22:14 UTC 9 мая на юго-восточном склоне вулкана был отмечен фронт пирокластического потока на расстоянии около 12-15 км от купола. Грязевыми потоками, возникшими в результате таяния снега под действием горячего материала пирокластического потока, была размыта дамба и полотно дороги в районе р. Бекеш на расстоянии 30 км от купола вулкана.

По спутниковым данным США и России, с 18:25 UTC 9 мая на снимках начал отмечаться плотный пепловый шлейф, протягивавшийся на юго-восток от вулкана. В 02:02 UTC 10 мая пепловый шлейф протянулся > 500 км и достиг о. Беринга (Командорские острова). Отложения пепла наблюдались в секторе (~ 50°) примерно от п. Усть-Камчатск до устья р. Андриановка (рис. 1в). Объем пепла, отложившегося на суше, по (Озеров, Демянчук, 2004) составил примерно 0.01-0.02 км³.

По сообщениям представителя МЧС РФ в п. Усть-Камчатск Д.В. Бею, 9-10 мая в поселке наблюдался пеплопад. Мощность тонкого пепла оранжево-коричневого цвета в поселке составила 1-2 мм, в 30-50 км к юго-западу от него — 5-7 мм. Над поселком до 03:00-04:00 UTC 10 мая стояла пепловая дымка; был ограничен выход детей и больных на улицу. Аэропорт поселка был закрыт. Пеплопад вызвал интенсивное таяние снега на хребте Кумроч — в районе 105-106 км автомобильная трасса Усть-Камчатск - Петропавловск

была достаточно серьезно размыта. Также было прервано сообщение с аэропортом п. Усть-Камчатск, так как вода в районе мыса Камчатский поднялась выше обычного уровня - глубина воды на полотне дороги составляла около 50 см на протяжении 200 метров. Слабый пеплопад в поселке к концу дня прекратился, так как направление пеплового шлейфа изменилось - шлейф сместился к юго-юго-востоку от вулкана. Наблюдатели из п. Усть-Камчатск отмечали, что пепловый шлейф, протягивавшийся от вулкана до океана, представлял на закате солнца великолепное зрелище.

По спутниковым данным, 20-27 мая в районе вулкана фиксировалась термальная аномалия размером до 20 пикселей, в отдельные дни при хорошей погоде наблюдалось 2 аномалии — над куполом вулкана и над пирокластическим потоком (рис. 2). Высокая температура (более 25°C) поверхности пирокластического потока сохранялась в течение 4-5 месяцев.

ПРОДУКТЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ

21 мая 2004 г. сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН был проведен облет вулкана Молодой Шивелуч с посадкой рядом с отложениями пирокластического потока для изучения продуктов извержения. Центральная часть южного склона купола была разру-



Рис. 4. Отложения Большого и Малого пирокластических потоков (а). Поверхность пеплово-глыбового пирокластического потока (б, в) и глыба лавы на потоке (г). Фото: С.В. Ушакова (а), О.А. Гириной (б, г), О.В. Коноваловой (в).

шена. По оценке в работе (Озеров, Демянчук, 2004) объем вынесенного при разрушении купола материала составил приблизительно $0.03-0.04 \text{ км}^3$. На вершине купола, примерно в центре его разрушенной части, 21 мая был замечен небольшой лавовый поток (Гирина и др., 2004) (рис. 3а на 3 странице обложки). К концу мая он спустился до середины купола (рис. 3б на 3 странице обложки), к концу июля — до его подножия (рис. 3в на 3 странице обложки). В течение мая - июля скорость движения вязкого лавового потока, в среднем, составляла 4 м в сутки. Средний расход лавы с 21 мая по 28 июля был оценен в $\sim 0.15-0.23 \text{ м}^3/\text{с}$ (Горбач, 2006).

Были исследованы отложения двух пирокластических потоков - Большого и Малого, образовавшихся в центральном секторе южного склона вулкана (рис. 4а на 3 странице обложки). Отложения Большого потока представляли собой своеобразный конус выноса длиной 12-15 км (рис. 4б). Отложения Малого потока протянулись по долине ручья (рис. 4а на 3 странице обложки). В центральной части Большого потока было обнаружено большое количество крупных глыб, представлявших собой часть отложений пеплово-глыбового пирокластического потока, сформированного при разрушении части купола в начале извержения вулкана. Образования этого потока были частично

перекрыты отложениями высокогазонасыщенного ювенильного пирокластического потока, формирование которого было обусловлено поступлением на поверхность свежего магматического вещества. Малый поток также был сложен отложениями двух вышеназванных типов пирокластических потоков.

В результате конвективной гравитационной дифференциации в процессе движения ювенильных пирокластических потоков произошло формирование пирокластических волн пепловых облаков (Гирина, 2004). Их отложения наблюдались на поверхности образований Большого и Малого потоков (рис. 5а), рядом с ними, на пространстве между ними (рис. 5б), на возвышенностях на расстоянии первых километров от отложений потоков. Мощность их не превышала 10-15 см. Спустя 10 дней после формирования, пирокластические образования были высокогазонасыщены – при передвижении по ним вулканологи проваливались порой по колено. Газонасыщенность отложений пирокластических волн значительно превышала таковую пирокластических потоков, о чем свидетельствуют различные значения плотности типов пирокластик: 1.63-1.77 г/см³ для отложений пирокластического потока и 0.71-0.91 г/см³ для отложений пирокластических волн. Температура отложений на глубине 15 см от поверхности составляла: Малого потока – 130°C, Большого – ~ 300°C.

В сентябре 2004 г. были определены границы распространения пирокластических образований с помощью мобильных GPS; термопарой измерена температура отложений; изучен их фациальный состав. В течение прошедших четырех месяцев плотность пирокластических отложений увеличилась, а температура понизилась. Крупные блоки и обломки размером до 8-10 м пеплово-глыбового пирокластического потока, в основном, были представлены монолитными и пористыми лавами купола вулкана Молодой Шивелуч (рис. 4 в-г). Кроме этого, наблюдались также брекчии размером до 10 м, представлявшие собой блоки агломератовой мантии купола разной степени литификации, разрушенной и вынесенной при последнем извержении вулкана. Измерить достоверно мощности отложений потоков на всем их протяжении было невозможно, так как в мае они были высокогазонасыщены и сильно нагреты, в сентябре размыв ручьями пород на всю их толщу наблюдался, в основном, лишь во фронтальной части ювенильных потоков. В каньоне под обрывом, ограничивающим зону пьедестала лавового купола, мощность пирокластических отложений, вероятно, достигала 5-10 м. В центральной части потоков их мощность (не учитывая высоту крупных глыб), вероятно, составляла 3-4 м; на расстоянии 1-2 км до фронта потоков их мощность в бортах ручьев была около

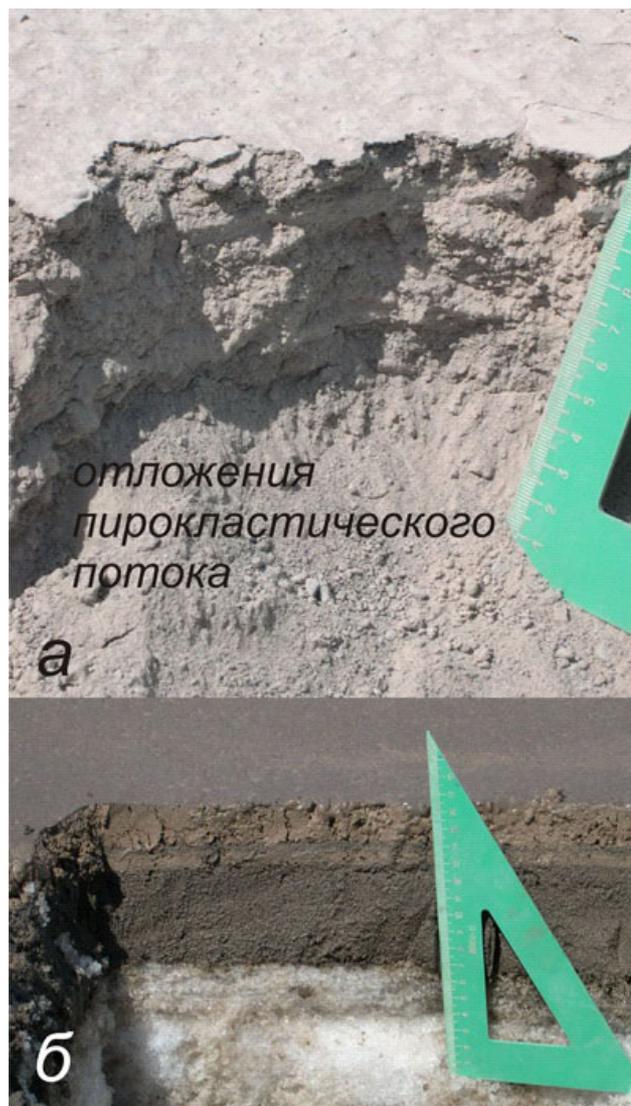


Рис. 5. Отложения пирокластических волн извержения вулкана Шивелуч 9 мая 2004 г. на поверхности Большого пирокластического потока (а), на снегу между образованиями Большого и Малого потоков (б). Фото О.А. Гириной.

2 м. Во фронтальной зоне иногда наблюдались небольшие валы высотой до 0.5 – 1.0 м, сложенные в основном обломками лав размером до 0.3-0.5 м. Чаще мощность отложений снижалась постепенно с нескольких метров до нескольких сантиметров. Холмы ближе к окончанию потоков были покрыты маломощными отложениями пирокластических волн, сквозь которые проглядывала трава. В среднем, мощность пирокластических образований составляла 2-3 м. В отложениях ювенильных пирокластических потоков и пирокластических волн заполнителя (частиц диаметром менее 2 мм) содержалось, соответственно, около 70-80% и 90-95%. Преобладающей фракцией заполнителей ювенильных пирокластических потоков была 0.5-1.0 мм, пирокластических волн – 0.125-0.25 мм, хотя, в общем, кумулятивные кривые гранулометрического состава заполнителей отложений

Таблица 1. Химический состав образцов пород извержения вулкана Шивелуч 9 мая 2004 г., мас. %

Окислы	Обломки лавы из Малого пирокластического потока				Заполнитель пирокластических потоков				Заполнитель волн	Пеплы	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	57.98	60.58	61.20	60.72	60.82	59.91	60.90	61.09	64.58	64.78	65.52
TiO ₂	0.49	0.41	0.45	0.49	0.55	0.48	0.43	0.47	0.37	0.35	0.35
Al ₂ O ₃	16.16	16.73	16.76	16.66	17.19	17.32	17.39	17.13	16.33	16.26	16.12
Fe ₂ O ₃	4.20	2.04	3.42	1.82	3.62	2.70	2.65	3.22	2.13	2.04	2.14
FeO	1.84	2.63	1.44	3.02	1.87	2.01	1.87	1.87	1.51	1.44	1.44
MnO	0.19	0.18	0.17	0.18	0.10	0.19	0.18	0.09	0.17	0.16	0.08
MgO	5.89	4.56	4.63	4.75	4.06	4.75	4.41	4.00	3.29	3.14	2.73
CaO	7.37	6.27	6.49	6.49	5.93	6.27	5.72	6.09	5.24	5.02	4.94
Na ₂ O	3.68	4.20	4.00	4.05	4.17	4.15	4.05	4.32	4.05	4.30	4.21
K ₂ O	1.34	1.41	1.27	1.34	1.30	1.27	1.20	1.66	1.50	1.72	1.88
H ₂ O	0.11	0.07	0.12	0.12	0.05	0.09	0.12	0.07	0.13	0.13	0.06
p.p.p.	0.35	0.29	0.24	0.40	0.20	0.43	0.52	0.17	0.50	0.58	0.33
P ₂ O ₅	0.16	0.16	0.15	0.15	0.17	0.15	0.15	0.15	0.17	0.17	0.18
Сумма	99.76	99.53	100.34	100.19	100.03	99.72	99.59	100.33	99.97	100.09	99.98

Примечание. 1-4 - данные из работы (Федотов и др., 2004); 5-11 – образцы пород отобраны О.А. Гириной. Аналитик Т.Г. Осетрова, Аналитический центр Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

были достаточно похожи (рис. 6). По химическому составу пирокластические породы относятся к андезитам и дациандезитам (Петрографический кодекс, 1995). По содержанию SiO₂, заполнители пирокластических потоков и обломки лав, отобранные из потоков, примерно одинаковы, заполнители пирокластических волн значительно более кислые (табл. 1). Частицы заполнителя потоков и волн были представлены обломками лавы дациандезита и минералов – в основном, роговой обманки и плагиоклаза, реже пироксена, а также тонкими фрагментами вулканического стекла. Кроме этого, заполнители и ювенильных потоков, и волн содержали также до 30–40 % бурых частиц.

Для характеристики летучих компонентов, сорбированных движущейся пирокластической массой, из которой были сформированы отложения

пирокластических потоков и волн, для водной вытяжки были отобраны образцы заполнителя ювенильного пирокластического потока (отбор 21 мая 2004 г.) и бурого пепла, отложившегося на чистый снег из раскаленных лавин 13–16 сентября (отбор 16 сентября 2004 г.). Составы водных вытяжек приведены в табл. 2. Пробы пирокластики наиболее различаются по содержанию Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ и H₄SiO₄. Это обусловлено, вероятно, во-первых, различным первичным составом пород – заполнитель потока состоял, в основном, из ювенильного вещества, бурый пепел – из резургентного, являясь продуктом разрушения пористых окисленных лав, лежащих на поверхности купола. Это также согласуется с мнением, что сорбция газов на пепловых частицах происходит в момент их образования – дробления или разбрызгивания магматического вещества при взрывной активности вулкана (Скрипко, 1975). Кроме этого, вероятно, что на различное содержание вышеуказанных элементов оказала влияние разная скорость остывания пирокластики после отложения, такая возможность также обсуждалась в работе (Скрипко, 1975). В зависимости от мощности и объема изверженных продуктов, отложения пирокластических потоков могут оставаться нагретыми на протяжении нескольких месяцев или лет, при этом в глубине потока на поверхности пепловых частиц будут сохраняться адсорбированные летучие компоненты. Тонкий резургентный пепел выпадал уже в холодном состоянии на снег, потому таким бедным является состав его водной вытяжки.

В сентябре 2004 г. на поверхности Большого пирокластического потока продолжали наблю-

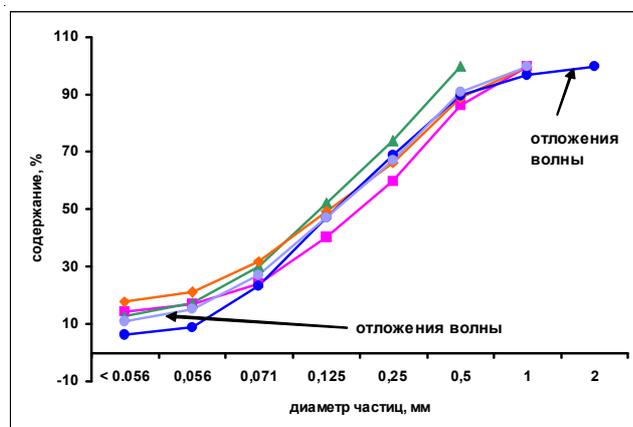


Рис. 6. Гранулометрический состав заполнителей отложений пирокластических потоков и волн, сформированных при извержении вулкана Шивелуч 9 мая 2004 г.

даться бескорневые фумаролы. Температура, например, в одной из них на глубине 5 см составляла 142.5^oC, в другой на глубине 20 см - 101^oC. Температура отложений пирокластике варьировала от 30 до 99^oC – более высокие ее значения наблюдались в зонах захоронения большого количества горячих крупных глыб. Наибольшая температура (302^oC) была замерена в трещине на глубине 50 см глыбы размером 3x7 м, находившейся в 3 км от купола вулкана.

По мере остывания пирокластического потока на его поверхности происходит образование возгонов – твердых продуктов вулканических эксгаляций. Было проанализировано два образца возгонов: тонкий налет желтоватого цвета на крупной глыбе лавы (выпоты) и белые корочки вещества, снятые с вертикальной стенки отложений пирокластического потока. Стенка образовалась, вероятно, при вторичном фреатическом взрыве, произошедшем при размыве водой ручья достаточно горячих отложений потока. Составы водных вытяжек из этих образцов приведены в табл. 2. Выпоты состояли, в основном, из тенардита, механические примеси были представлены плагиоклазом (альбит) и амфиболом. Возгоны со стены пирокластического потока состояли из тенардита и гипса, механические примеси были представлены плагиоклазом (от альбита до анортита). Рентгенометрические анализы были выполнены в ИВиС ДВО РАН М.Е. Зеленским.

С помощью программного обеспечения ENVI-4.2, данные GPS, полученные во время полевых работ, были наложены на спутниковый снимок LANDSAT 7 (NASA, США) от 22 сентября

Таблица 2. Химический состав водных вытяжек образцов пород вулкана Шивелуч, мг/л (на 100 г. воздушно-сухой пробы)

Компоненты	1	2	3	4
Na ⁺	10.00	1.67	10540.90	3358.70
K ⁺	0.75	0.67	122.20	37.95
NH ₄ ⁺	0.05	0.17	0.61	0.28
Ca ²⁺	12.02	1.67	220.60	621.60
Mg ²⁺	2.20	0.33	107.50	37.12
F ⁻	0.10	0.30	1.83	2.77
Cl ⁻	9.23	3.51	1386.36	62.88
HCO ₃ ⁻	6.70	0.80	59.88	40.44
SO ₄ ²⁻	38.40	1.67	21598.85	8621.07
H ₃ BO ₃	0.30	0.80	15.28	1.38
H ₄ SiO ₄	5.00	72.60	12.22	41.55
Сумма	84.75	84.19	34066.23	12825.74
pH	6.38	6.56	6.30	7.30

Примечание. 1- заполнитель ювенильного пирокластического потока; 2 – бурый пепел; 3 – тонкий налет (выпоты) на глыбе лавы; 4 – белые корочки возгонов на вертикальной стенке отложений пирокластического потока. Аналитики: В.К. Марынова, В.В. Дунина-Барковская и С.В. Сергеева, Аналитический центр Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

2000 г., любезно предоставленный сотрудниками Аляскинской вулканологической обсерватории (АВО), США, что позволило определить площадь пирокластических образований Большого потока – 5.3 км², а также их протяженность от купола – 15 км (рис. 7 на 3 странице обложки). Объем отложений пирокластических потоков, с учетом Малого потока, составляет приблизительно 0.02 км³.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании анализа сейсмических и визуальных данных, а также изверженных продуктов вулкана, предполагается следующий сценарий извержения вулкана Молодой Шивелуч 9 мая 2004 г. Известно, что на протяжении четырех месяцев, предшествовавших пароксизмальному извержению, в районе купола наблюдалась термальная аномалия размером до 20 пикселей. Также отмечалась высокая сейсмическая и взрывная активность вулкана: кроме отдельных сильных пепловых эксплозий, наблюдались многочисленные раскаленные лавины. Вероятно, что на протяжении этого времени происходило внедрение ювенильной магмы в подкупольную постройку вулкана - формирование криптокупола. Это объясняет и термальную аномалию большого размера, и многочисленные небольшие лавины со стен купола, и отдельные сильные эксплозии, связанные с выбросом ювенильного вещества криптокупола. В результате такой деятельности прочность постройки вулкана была несколько ослаблена.

В конце апреля и в начале мая произошло несколько мощных эксплозий, пепел которых поднимался до 8.0-9.0 км над уровнем моря. Возможно, магматическое вещество было уже близко к поверхности, но еще не имело свободного выхода. Вероятно, что очередная мощная эксплозия 9 мая привела к крупному разрушению центральной части купола и формированию пеплово-глыбового пирокластического потока (типа мерапи (Макдоналд, 1975)). Вслед за сильной эксплозией последовали менее мощные взрывы. Обрушение части купола, вероятно, было не одномоментным, а растянутым во времени, так же как и серии взрывов, то есть умеренные выбросы ювенильного вещества криптокупола и обрушение краевых блоков купола происходили одновременно. Вероятно, эта фаза извержения соответствует наиболее сильным сейсмическим событиям, которые регистрировались сейсмостанциями в течение 5 ч – с 13:10 до 18:30 UTC 9 мая 2004 г.

Возможно, дальнейшее обрушение части купола привело к обнажению криптокупола, снятию с него давления, что вызвало более легкое поступление на поверхность ювенильного вещества. Начались мощные направленные (не вертикаль-



Рис. 8. Мощная эксплозия на вулкане Шивелуч 9 мая 2004 г., направленная под углом к горизонту. Высота пепловой колонны около 10 км над уровнем моря. Фото Ю.В. Демянчука.

ные, а под углом к горизонту) эксплозии (рис. 8), при которых пепел поднимался на высоту до 10 км над уровнем моря. По сейсмическим данным, усиление активности вулкана было отмечено в 20:00 UTC 9 мая. Обрушение краевых частей направленных эруптивных колонн привело к формированию ювенильных пирокластических потоков (тип суфриер (Макдоналд, 1975)), более газонасыщенных и более мобильных, чем пеплово-глыбовые. Их формирование также было растянуто во времени, отложение пирокластики происходило порциями и сначала в ближней зоне купола, закрытой облачностью. Лишь спустя 2 часа (в 22:14 UTC 9 мая 2004 г.) после начала второй фазы извержения (после усиления активности) вулкана было отмечено появление фронта пирокластического потока на границе облачности, располагавшейся примерно в 12-15 км от вулкана.

Общий объем пирокластического материала, отложившегося на суше при извержении вулкана 9 мая 2004 г., включающий отложения пирокластических потоков, волн и тефры, оценивается примерно в 0.06 км³.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН А.В. Сокоренко, О.В. Конова-

ловой, Д.В. Мельникову и А.А. Нуждаеву за помощь при проведении полевых работ и обработке данных GPS.

Работа выполнена в рамках программы KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) «Вулканический пепел и безопасность для авиации».

Список литературы

- Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюл. вулканол. станций. 1957. № 25. С. 5-95.
- Вольнец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.* Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч. Камчатка. Россия // Петрология. 1997. № 2. С. 206-221.
- Гирина О.А.* О конвективной гравитационной дифференциации пирокластики андезитовых вулканов // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 25-29.
- Гирина О.А., Сеников С.Л., Демянчук Ю.В. и др.* Извержение вулкана Шивелуч, Камчатка, 10

ПАРОКСИЗМАЛЬНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ

- мая 2004 г. // Материалы 4-го международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. 21-27 августа 2004 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 15-16.
- Горбач Н.В.* Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 1-8.
- Макдоналд Г.* Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
- Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др.* 300 лет жизни Камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII-XX вв.). Часть I. 1650-1964 // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3-19.
- Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч — его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
- Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В.* Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75-80.
- Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования. Санкт-Петербург: изд. ВСЕГЕИ, 1995. 128 с.
- Сенюков С.Л., Дроздина С.Я., Гарбузова В.Т. и др.* Мониторинг активности вулканов Камчатки в 2004 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 69-79.
- Скрипко К.А.* К оценке роли гравитационной дифференциации летучих при движении пирокластических потоков // Бюл. вулканол. станций. 1975. № 51. С. 64-69.
- Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др.* Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 3-15.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Двигало В.Н. и др.* Эруптивный цикл вулкана Шивелуч в 2001-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 3-14.
- Хубуня С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др.* Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3-19.
- Girina O.A., Chubarova O.S., Senyukov S.L.* The Recent Activity of Sheveluch Volcano. Abstracts. 3rd Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Kurile-Kamchatka-Aleutian Arcs. Fairbanks, Alaska. 2002. P. 121-122.

PAROXYSMAL ERUPTION OF THE YOUNG SHEVELUCH VOLCANO, KAMCHATKA ON MAY 10, 2004

O.A. Girina^{1,2}, S.V. Ushakov¹, Yu.V. Demjanchuk¹

¹*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division of the Russian Academy of Science,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

²*Kamchatka State University by Vitus Bering,
683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya street, 4.*

Paroxysmal eruption of Young Sheveluch volcano occurred on May 9, 2004. Series of explosions produced a continuous ash cloud, which elevation reached 8-11 km ASL. The cloud stretched to the east-southeast from the volcano toward Ust-Kamchatsk and Bering Island. The deposits of two new pyroclastic flows and pyroclastic surges were explored in the middle part of the southern flank of the volcano. The total volume of the pyroclastic deposits is approximately 0.06 km³. Pyroclastic flow melted snow deposits accumulated since the beginning of the winter and produced extensive mud flows, which traveled for more than 30 km downstream the Bekesh River and destroyed a dam and a part of the road from Klyuchi to Ust'-Kamchatsk.