

УДК 550.34+550.344.42+551.432.7(571.645)

СЛАБОЕ ФРЕАТИЧЕСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ЭКАРМА (КУРИЛЬСКИЕ О-ВА) В ИЮНЕ 2010 г. КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРЕДВЕСТНИК ЕГО БУДУЩЕГО СИЛЬНОГО МАГМАТИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ

© 2012 г. А. В. Рыбин¹, А. В. Дегтерев¹, Е. А. Кравчуновская²,
М. В. Чибисова¹, А. С. Нерода³, И. В. Мелекесцев²,
Н. Г. Разжигаева⁴, С. А. Чащин⁵, С. А. Чирков²,
И. Г. Коротеев¹, Х. А. Арсланов⁶

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022 Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, e-mail: rybin@imgg.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

⁴Тихоокеанский институт географии ДВО РАН
690041 Владивосток, ул. Радио, 7

⁵Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690041 Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159

⁶Санкт-Петербургский государственный университет
199178 Санкт-Петербург, В.О., 10 линия, 33, Факультет географии и геоэкологии
Поступила в редакцию 01.09.2011 г.

Приведены данные о слабом фреатическом извержении вулкана Экарма (о. Экарма, Курильские острова) в июне 2010 года. Высота пепловых выбросов не превышала 3 км над уровнем моря. Ориентировочный объем изверженного резургентного материала (преимущественно тефры) составляет порядка $2 \times 10^5 \text{ м}^3$. По данным реконструкции истории и динамики эруптивной активности вулкана за последние 4.5–5 тыс. лет предполагается, что в ближайшие десятилетия возможно его более сильное извержение с выбросом ювенильной пирокластики и (или) с излиянием лав.

ВВЕДЕНИЕ

В августе 2010 г. состоялась комплексная международная экспедиция на Средние и Северные Курильские острова. Основной задачей экспедиции было проведение палеовулканологических и палеогеографических исследований на о. Матуа, с целью реконструкции эруптивной истории вулкана Пик Сарычева, а также изучение последствий его извержения 2009 г. Планировалось также оценить современное состояние вулкана Райкоке. Однако в ходе экспедиции была обнаружена происходящая активизация вулкана Экарма, что заставило скорректировать планы, чтобы провести обследование и этого объекта. Обеспечение наземных и морских работ проводилось парусным учебным судном “Надежда” Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток [Левин и др., 2010]. Наземная группа экспедиции была представлена сотрудниками институтов Дальневосточного отделения РАН (Институт морской гео-

логии и геофизики, Институт вулканологии и сейсмологии, Тихоокеанский институт географии), а также зарубежными партнерами из Университетов штатов Аляска (г. Фербенкс) и Вашингтон (г. Сиэтл). Общее количество участников – 16 человек, руководитель группы – заведующий лабораторией вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН к.г.-м.н. А.В. Рыбин.

КРАТКИЙ ОЧЕРК ГЕОМОРФОЛОГИИ И ГЕОЛОГИИ ОСТРОВА-ВУЛКАНА ЭКАРМА

Небольшой (31.5 км²) остров Экарма находится в Охотском море в северной группе Курильских островов между островами Чиринкотан и Шиашкотан (рис. 1). В плане он имеет форму овала размером 5×7.5 км, удлинённого в широтном направлении. В геоморфологическом отношении остров является надводной вершиной сложно построенного подводно-надводного острова-вулка-

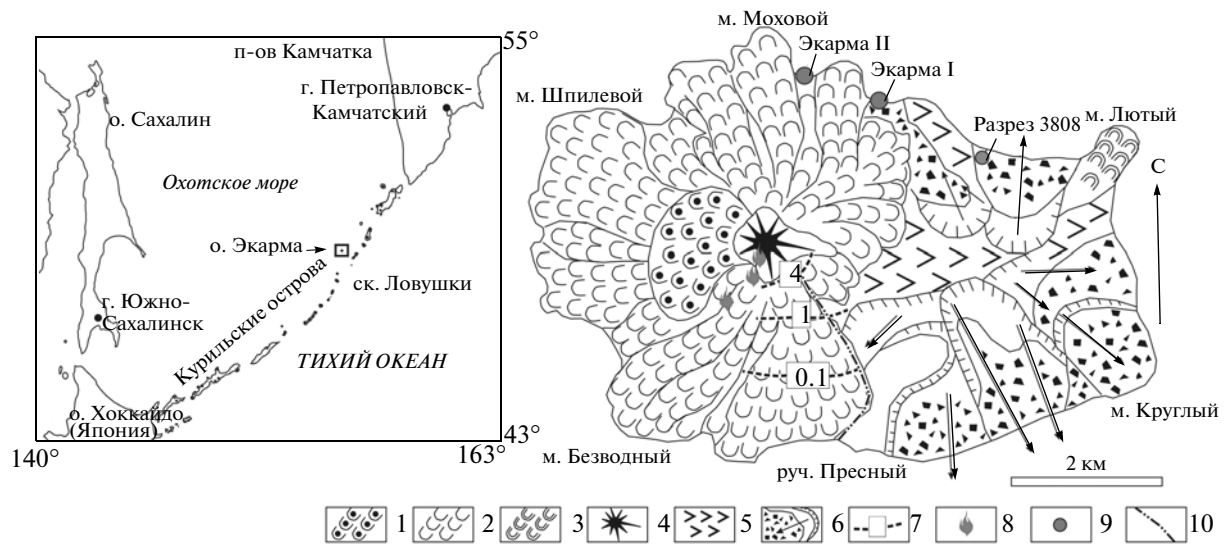


Рис. 1. Расположение и геоморфолого-вулканологическая схема о. Экарма, по Г.С. Горшкову [1967] и И.В. Мелекесцеву [2005], с дополнениями авторов.

1 – лавовый поток извержения 1767–1769 гг.; 2 – лавовые потоки голоценового возраста; 3 – лавовые потоки плейстоценового возраста; 4 – экструзивный купол вулкана-извержения 1767–1769 гг.; 5 – остатки вулканических построек, не сохранившие первичного рельефа; 6 – обвальные-осыпные цирки и отложения голоценового возраста; 7 – изопакиты (см) тефры извержения 2010 г.; 8 – эруптивные центры извержения 2010 г.; 9 – термальные источники; 10 – маршрут восхождения на вулкан при изучении последствий активизации 2010 г.

на, поднимающегося над морским дном более чем на 3200 м.

Подводный пьедестал о. Экарма – террасированная абразионная платформа (комплекс подводных морских террас), срезающая несколько слившихся между собой вулканических образований разных типов. Внешний край платформы находится на глубинах порядка 100–200 м. По измерениям И.В. Мелекесцева, общий объем морфологически выраженной в рельефе постройки острова вулкана Экарма – около 150 км³, а ее над-



Рис. 2. Вулкан Экарма (вид с юго-востока), 2008 г. Фото А.В. Рыбина.

водной части – около 10 км³. Размер подводного основания 20 × 30 км, площадь ~450 км².

По геологическому строению, геоморфологии и возрасту о. Экарма четко разделяется на две неравные части – западную и восточную.

Действующий голоценовый стратовулкан Экарма (49.958° с.ш., 153.93° в.д., абс. высота 1170 м) занимает всю западную часть острова, большую по площади. Вершина вулкана увенчана крупным очень свежим по облику экструзивным куполом с округлым кратером диаметром ~50 м. Конус и подножье вулкана залиты сплошным покровом глыбовых лавовых потоков, излившихся в разное время из вершинного кратера, но раньше, чем там возник экструзивный купол. Потоки вязкие, сравнительно короткие (длина не превышает 3 км), мощные (на фронте до 50–100 м). Наиболее свежий лавовый поток, веерообразной формы, излился на запад (см. рис. 1). В конце этого извержения или в результате последующего кратер оказался закупорен лавовой пробкой – экструзивным куполом с первичным контрастным рельефом на его кровле, придавшим вершине вулкана Экарма зубчатый облик (рис. 2).

По предположению Г.С. Горшкова [1967], экструзивный купол был выдавлен во время извержения 1767–1769 гг.

Характерная особенность периферической части постройки вулкана Экарма – многолопастная форма ограничивающей его береговой линии. Каждая лопасть – концевая часть лавового пото-

Таблица 1. Химический состав лав и пирокластики вулкана Экарма

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	57.68	58.84	60.26	56.4	57.49	60.52	64.16	60.94
TiO ₂	1.4	0.61	0.76	0.68	0.71	0.59	0.67	0.61
Al ₂ O ₃	16.82	16.46	14.04	17.56	17.3	18.14	16.12	13.74
Fe ₂ O ₃	2.96	3.71	5.32	3.01	3.24	7.13	4.52	4.96
FeO	4.02	3.97	3.88	5.11	4.21		1.85	1.66
MnO	0.19	0.14	0.07	0.15	0.17	0.08	0.08	0.07
MgO	3.6	3.55	3.68	3.84	3.87	2.17	2.3	1.78
CaO	8.25	7.48	7.2	8.27	8.13	7.70	4.16	7.36
Na ₂ O	3.78	3.8	3.22	3.64	2.97	2.42	2.18	1.58
K ₂ O	1.35	1.09	1.6	1.08	1.29	1.13	1.27	1.05
P ₂ O ₅	но	но	но	0.13	0.11	0.13	0.14	0.12
H ₂ O+	0.27	0.58	0.37	но	но	—	—	—
H ₂ O-	0.05	0.2	0.09	но	но	—	—	—
п.п.п.	—	—	—	0.34	0.31	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	2.46	0.08
F	—	—	—	—	—	—	6.07	0.06
Сумма	100.37	100.43	100.49	100.21	99.8	100.01	99.99	100.0

Примечание. 1 – двупироксеновый андезит, подножие вулкана; 2 – андезит, вулканическая бомба; 3 – роговообманково-пироксеновый андезит, вершинная экструзия вулкана [Горшков, 1967]; 4, 5 – средние составы лав вулкана Экарма [Авдейко и др., 1992]; 6 – пепел 2010 г., выполнялся в лаборатории аналитической химии Дальневосточного Геологического института ДВО РАН, аналитики В.Н. Капинская, Л.С. Левчук, Ю.М. Иванова; 7, 8 – пепел 2010 г., выполнялся в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (рентгенофлуоресцентная спектрография), аналитики Е.В. Карташева, С.В. Сергеева, Н.И. Чеброва. но – не определялось. Химические анализы вулканических пеплов 6–8 пересчитаны на безводный остаток.

ка, излившегося из вершинного кратера. Поверхность некоторых потоков перекрыта свалившимся сверху грубообломочным материалом. Изученные [Горшков, 1967; Авдейко и др., 1992] породы вулкана – двупироксеновые андезиты и андезибазальты с вкрапленниками лабрадора № 50–65, авгита и гиперстена, а самые молодые и наиболее вязкие из них и вершинный купол сложены более кислыми двупироксеновыми андезитами с заметной примесью роговой обманки. Химический состав пород вулкана представлен в табл. 1.

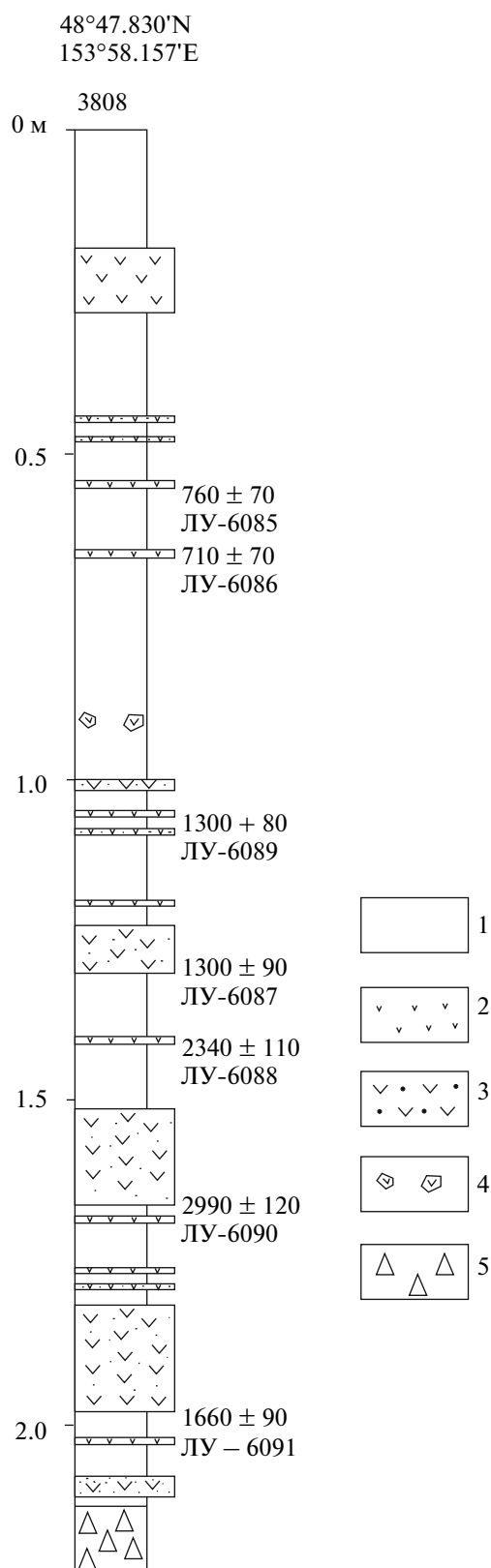
В результате тефрохронологических исследований, проведенных на о. Экарма в 2007–2008 гг. были получены первые данные об активности вулкана в течение последних 4.5–5 тыс. лет. Изучение особенностей распределения слоев вулканических пеплов в разрезах торфяника и почвенно-пирокластического чехла северной части острова на среднеголоценовых обвальных отложениях в пределах древней вулканической постройки показало, что вулкан Экарма был весьма активен в конце среднего – начале позднего голоцена (рис. 3).

Сведений об исторических извержениях (XVIII–XX века) вулкана Экарма очень мало. По данным [Горшков, 1967], самое раннее и самое сильное из них произошло в 1767–1769 гг. Имен-

но оно и сформировало современный облик вулкана благодаря выросшему тогда на его вершине крупному экструзивному куполу. За последующие 211 лет данные об извержениях этого вулкана отсутствуют. И лишь 24 мая 1980 г. от капитана судна, проходящего мимо о. Экарма, было получено сообщение о серии вулканических взрывов, происходивших там в течение часа. Черный эруптивный столб поднимался на высоту более 1 км, а на палубу выпадал пепел [Иванов и др., 1981]. Следовательно, извержение 1980 г. было кратковременным, но довольно сильным, так как пепел выпадал и за пределами острова. К сожалению, последствия извержения 1980 г. на самом о. Экарма и в его прибрежной зоне никто из вулканологов и геологов не изучал.

По наблюдениям из района пролива Крузенштерна (40–50 км к ЮЮЗ от о. Экарма) в течение июля 1980 г., эксплозивная деятельность на вулкане Экарма уже отсутствовала, но склоны его конуса имели темно-серый цвет, в отличие от соседнего и более низкого вулкана Чиринкотан, снежники на котором оставались белыми [Иванов и др., 1981].

В 2007–2008 годах с борта научно-исследовательского судна были проведены визуальные наблюдения и сделана серия фотографий вершины



вулкана Экарма [Левин и др., 2009], на которых отсутствуют признаки активной фумарольной деятельности (см. рис. 2). По данным анализа спутниковых снимков, находящихся в свобод-

Рис. 3. Геологический разрез торфяника в северной части о. Экарма.

1 – торф; 2 – вулканический пепел алевритовой размерности; 3 – вулканический пепел песчаной размерности; 4 – пемзовый гравий в торфе; 5 – грубообломочный материал (обвальное-взрывные отложения). Цифры справа от колонки ^{14}C даты и их лабораторные номера.

ном доступе в сети Интернет, полученных различными космическими аппаратами в период с 2000 по 2008 г., признаков активности вулкана тоже не отмечалось. И только на фотографиях, полученных с Международной космической станции в июне 2009 г. (<http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=ISS020&roll=E&frame=9641>), отмечается слабая фумарольная активность на южном склоне вулкана.

Восточная часть острова представляет собой короткий (3.5–4 км) субширотный хребтик с абсолютными высотами вершин от 500 до 796 м. В его пределах свежие по морфологии вулканические постройки отсутствуют, а вскрытые в береговых разрезах и на гребнях водоразделов вулканоогенные толщи слагают фрагменты сильно разрушенных, слившихся своими основаниями вулканических форм разных типов. И сами постройки, и слагающие их породы изучены очень слабо. Однако вполне определенно можно утверждать, что преобладают вулканы, интенсивно измененные гидротермальными процессами. На западе эти толщи погребены лавовыми потоками вулкана Экарма. Определить, на какое расстояние они продолжают под вулканом, не удалось.

В обнажениях северо-восточной окраины острова представлены гидротермально-измененные породы, которые прослеживаются до абсолютных отметок (максимальная высота водораздельных гребней) 800 м, слагая фрагменты сильно разрушенной обвальными процессами вулканической постройки (построек?) предположительно верхнеплейстоценового возраста. Мыс Лютый – окончание мощного лавового потока. Береговые обрывы восточной части острова, от мыса Круглый до мыса Лютый, сложены лавами и спекшимися туфами андезитового состава. Западнее мыса Лютый наблюдается налегание этой толщи на такситовые лавы дацитового состава. Почти по всему периметру восточной части острова верхние части береговых обрывов сложены грубообломочными толщами обвального происхождения. Мыс Круглый с абсолютной отметкой 353 м – остаток вулканической постройки.

В южной части острова от руч. Пресный до руч. Лахаровый фрагменты этой постройки представлены такситовыми лавами и спекшимися туфами андезидацитового и дацитового состава. Восточнее руч. Пресный они прорваны дайками,

Таблица 2. Химический состав воды термального источника Экарма II

Компоненты	мг/л	мг-экв/л	% мг-экв
Na ⁺	995.30	43.29	68.88
K ⁺	73.38	1.88	2.99
Ca ²⁺	184.40	9.20	14.64
Mg ²⁺	103.09	8.48	13.49
∑ катионов	1356.17	62.85	100.00
HCO ₃ ⁻	311.19	5.10	8.85
Сумма А	2296.54	57.63	100.00
HCO ₃ ⁻	311.19	5.10	8.85
F ⁻	2.44	0.13	0.22
Cl ⁻	1507.05	42.50	73.74
NO ₃ ⁻	0.76	0.01	0.02
SO ₄ ²⁻	475.10	9.89	17.16
∑ анионов	2296.54	57.63	100.00
H ₃ BO ₃	< 0.5		
Общая минерализация, мг/л	3652.71		
pH	6.4		
T ₁ , °C	70		
Дата обора пробы воды	04.08.2008 г.		

Примечание: химический анализ воды выполнен в Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН потенциометрическим, объемным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами. Аналитик О.В. Шульга.

образующими в настоящее время небольшие мысы. Характерная черта вулканитов толщи и даек — наличие в них большого количества включений размером 3–10 см, которые быстрее поддаются выветриванию, вследствие чего формируется своеобразная “дырчатая” текстура пород. “Пляж” в этой части острова образован гигантскими глыбами (5–10 м в поперечнике) обвального происхождения. Некоторые из них в разной степени окатаны под действием волновой деятельности, очень здесь сильной.

Интенсивные гидротермальные изменения пород и тесно связанные с ними обвально-оползневые процессы продолжают на острове Экарма и в настоящее время. Известны и современные гидротермы — Экарма I и Экарма II, находящиеся на северном побережье острова. Источники “Экарма I” были обнаружены капитаном Сноу в 1885 г. [Сноу, 1992] между мысами Моховой и Лютый. Химический состав гидротерм и их краткое описание приведены в работе [Мархинин, Стратула, 1977]. Источники приурочены к сложенной грубообломочной толщей обвального происхождения вертикальной стенке высотой 8–9 м и длиной около 20 м. На всем протяжении до высоты 4–5 м из стенки сочится термальная вода, наиболее горячие выходы находятся с ее подножия до

высоты 1.5 м, что подчеркивается светло-бурым цветом осаждающихся гидроокислов железа. Максимальный дебит наблюдался в западной части стенки, где образовалась небольшая ванна, заполненная хлопьевидным осадком из гидроокислов железа. По данным [Мархинин, Стратула, 1977], в 1962 году максимальная температура воды составляла около 40°C, pH 6.2, минерализация — 1.99 г/л. Общий дебит превышал 20 л/с. В 2007 году максимальная замеренная температура — 39.9°C.

Термальные проявления “Экарма II” были обнаружены в 2008 году участниками экспедиции “Курильский биоконплексный проект: человеческая уязвимость и способность к восстановлению при субарктических изменениях” Национального научного фонда США (NSF) ARC-0508109, 2006–2008 гг. Они находятся в бухточке, в 1.2 км восточнее мыса Безводный и приурочены к узкой полосе (длиной около 100 м) валунно-галечного пляжа. Благодаря светло-серому налету и слабому парению в местах выходов термальных вод, эти проявления хорошо просматриваются в приливно-отливной зоне. Максимальная температура выходов — 60–70°C. По общему химическому составу источники относятся к хлоридно-натриево-му типу с близнейтральной реакцией (pH 6.4) и общей минерализацией 3.6 г/л (табл. 2).

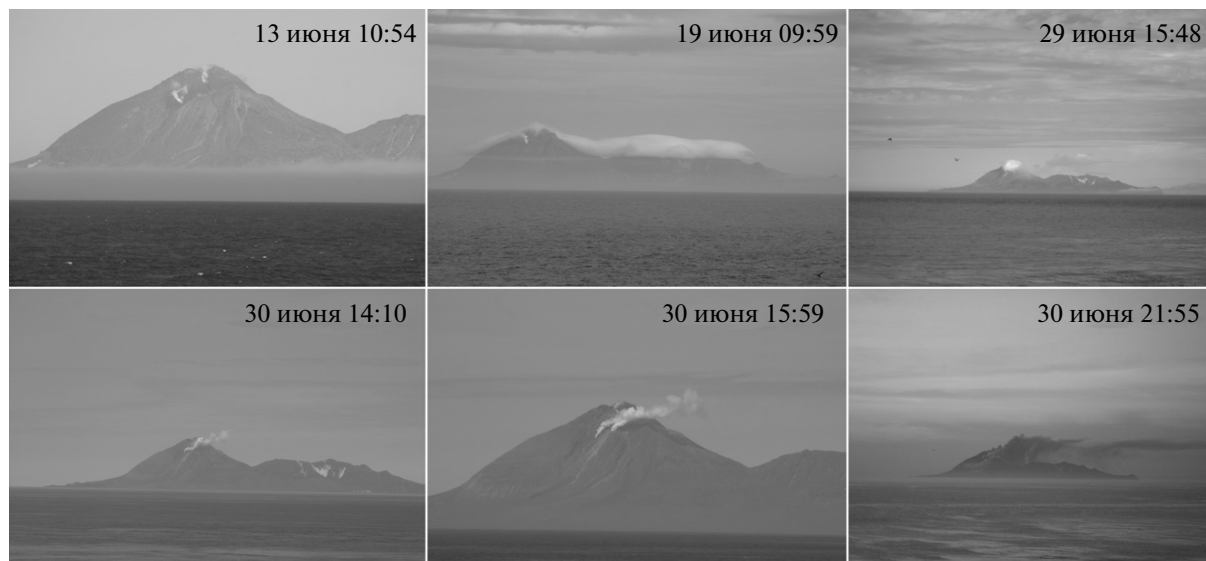


Рис. 4. Наблюдение активности вулкана Экарма с острова Скала Долгая (о-ва. Ловушки) в июне 2010 г. Время сахалинское.

Судя по расположению гидротерм у подножия вулкана, в его СВ секторе источник их теплового питания находится, вероятнее всего, под центральной частью вулкана Экарма. Обогащение термальной воды кремнеземом показывает, что там она была нагрета выше точки кипения.

ХРОНОЛОГИЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ В ИЮНЕ 2010 Г. И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

Информация о ходе извержения 2010 г. поступила от А.С. Нероды (личное сообщение), научного сотрудника Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН, который в составе группы исследователей, изучавшей Курильскую популяцию сивуча, находился на острове Скала Долгая (группа островов Ловушки, 42 км юго-западнее острова Экарма) с 28 мая по 11 июля. Впервые повышенная парогазовая активность вулкана ими была отмечена в начале июня, а на фотографиях за 13 и 14 июня на южном склоне отчетливо фиксируется уже три изолированных площадки с интенсивной парогазовой деятельностью (рис. 4). Нижняя площадка видна на высоте около 720 м, имеет вытянутую форму и, скорее всего, трассирует трещину северо-восточного простирания. Средняя площадка расположена на высоте примерно 820 м и приурочена к крутому перегибу склона. Верхняя площадка находится на вершине вулкана и, к сожалению, плохо просматривается на приведенном снимке.

16 июня во второй половине дня на острове Скала Долгая были слышны “грохоты” (8–10), которые продолжались по 30–40 минут каждый. В последующие дни также отмечался “грохот”, но значительно слабее, чем вначале. Из-за плохих

погодных условий качественную видеосъемку вулкана удалось провести только 30 июня. На снимках за этот день четко видна сильная парогазовая деятельность на нижней и средней площадках и слабая – на верхней. На участке склона, прилегающего к средней площадке, в результате быстрого таяния снега образовалось несколько лахаров: один из них сошел в южном, два других – в юго-западном направлениях.

Вечером 30 июня (20:30 сахалинского времени) произошел вулканический взрыв с выбросом пепла на высоту до 3 км над уровнем моря. Выпадение пепла на острове Скала Долгая не отмечалось.

10 августа 2010 г., но уже с борта парусного учебного судна “Надежда”, участниками нашей комплексной экспедиции наблюдалась сильная парогазовая активность на вулкане Экарма. Стоянка судна находилась между островами Райкоке и Матуа на удалении 90 км от вулкана. В течение дня в юго-западной части острова был виден парогазовый столб светло-серого цвета высотой около 2 км над уровнем моря. Визуально центр извержения определялся на абсолютной высоте 500–600 м.

11 августа участники экспедиции высадились на острове Матуа для выполнения запланированных работ по реконструкции эруптивной истории вулкана Пик Сарычева в голоцене и изучению последствий его последнего извержения. С этого момента и вплоть до 23 августа наблюдения проводились из бухты Двойная (расстояние до вулкана Экарма 105 км). В указанный период достаточная видимость была лишь дважды – 14 и 22 августа, когда также наблюдался парогазовый столб высотой до 1.6 км над уровнем моря.

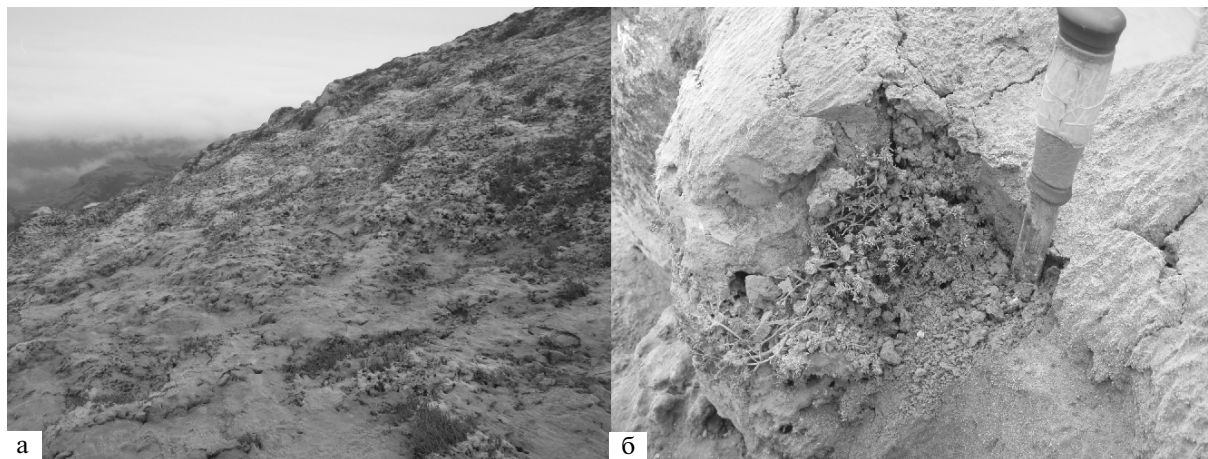


Рис. 5. Некоторые последствия извержения вулкана в 2010 г.: а – склон вулкана (высота 700–800 м), покрытый свежес выпавшим пеплом; б – привершинная часть (высота 900 м), мощность пепла 3–5 см.

Выполнить кратковременное полевое обследование вулкана Экарма представилось возможным лишь только после окончания работ на о. Матуа – 24 августа. Окрестности вулкана были покрыты тогда светло-серым пеплом, его мощность и гранулометрический состав менялись в зависимости от удаления от центра извержения (рис. 5). Высадка состоялась на южном берегу в небольшой бухточке, в 70 м от устья небольшого ручья, по правому борту которого проходил подъем к активным фумаролам (см. рис. 1).

Первые последствия извержения были обнаружены непосредственно в месте высадки. В долине ручья оказались следы прохождения небольшого лахара – в виде фрагментов лахаровых отложений на высоте до 3–4 м над уровнем русла ручья, а также ободранных и облепленных грязью до такой же высоты кустов ольхового стланика. Однако вода в самом ручье была лишь слегка мутноватой. Выше по течению на абсолютных отметках 150–200 м стали попадаться присыпанные светло-серым тонким вулканическим пеплом (рис. 6) листья рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum*). Мощность налета пепла на них не превышала 0.1–0.2 мм. Но пеплом были покрыты только старые листья, на новых пепел отсутствовал. Судя по возрасту не покрытых пеплом листьев, известный флорист В.В. Якубов заключил (личное сообщение), что этот пепел выпал сразу после снеготаяния.

В высотном интервале 250–300 м начали попадаться кусты ольхового стланика с частично высохшими листьями, но сгоревших кустов обнаружено не было. Еще выше, в зоне тундры, были обнаружены останки погибших птиц. Мощность пепла достигала там 1–2 см. На высотах 600 м и более стал ощущаться запах сероводорода. Кустарниковая и травянистая растительность здесь полностью отсутствовала.

На абсолютных отметках 800–900 м пепел 2010 г. имел мощность 3–5 см и лежал на ярко-желтом разнозернистом песке с гравием – грубой тефре одного из прошлых (возможно, 1767–1769 гг.) извержений вулкана Экарма. Сам же этот пепел имел следы перебива дождевой водой и был мокрым. На кровле пеплового слоя 2010 г. наблюдались редкие желтые кристаллы неизвестного состава.

Подъем продолжался до абсолютной высоты 920 м, уже выше выхода средней фумаролы. Однако она располагалась за соседним гребнем, и сам выход фумаролы не был виден, наблюдался лишь интенсивно выделявшийся оттуда белый пар с запахом сероводорода. Из-за дефицита времени эта фумарола, а также верхняя и нижняя не обследовались и не опробовались. Не описывались и взрывные воронки, к которым они были приурочены.



Рис. 6. Листья рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum*), присыпанные вулканическим пеплом.

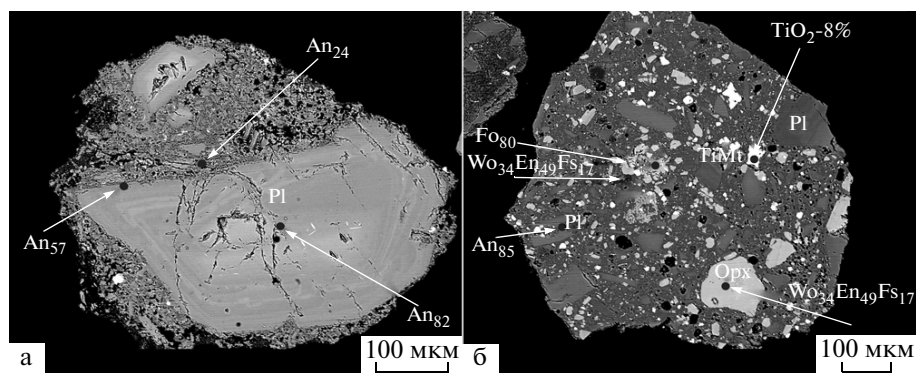


Рис. 7. Фрагменты обломков эффузивных пород из тефры 2010 г. вулкана Экарма.

Пепел, отобранный с вершинной части вулкана (мощность до 5 см), по гранулометрии соответствовал алевропелиту с относительно небольшой примесью более крупных фракций: фракция менее 0.05 мм составляла 73.9%, доля каждой из остальных фракций не превышала 3–4%. Он представлен, преимущественно, угловатыми частицами эффузивных пород и, в меньшем количестве, фрагментами кристаллов плагиоклаза, пироксена, реже оливина, а также их сростками. Обломки пород – плотные темно-серого цвета андезиты с редко порфировой структурой. Преобладающий среди минералов-вкрапленников плагиоклаз встречается в виде мелких и реже – крупных кристаллов удлиненно-шестоватой или таблитчатой формы. По составу он соответствует битовниту или лабрадору (An_{53-85}). Отдельные кристаллы плагиоклаза имеют прямую зональность, выраженную в падении содержания анортитового минала от центра (85–72 мол. %) к краю (74–50 мол. %) зерна (рис. 7а). К краевым зонам минерала также увеличивается содержание ортоклазовой молекулы, но падают концентрации глинозема и железа. Изредка встречаются кристаллы с обратной зональностью (54 мол. % An в центральной части и 77 мол. % An – в краевой).

Ортопироксен – второй по частоте встречаемости минерал. Он представлен крупными кристаллами (0.1–0.3 мм) удлиненно призматической или таблитчатой формы, отвечающих по составу гиперстену ($Wo_2En_{64-66}Fs_{34-32}$). Встречаются отдельные кристаллы гиперстена с микровключениями апатита, плагиоклаза, титаномагнетита. Характерная особенность минерала – отсутствие отчетливо выраженной зональности. Помимо гиперстена в породах встречаются единичные микрофенокристы бронзита ($Wo_4En_{68}Fs_{28}$).

Клинопироксен представлен авгитом ($Wo_{43}En_{46-42}Fs_{10-15}$), образующим крупные (2.0–0.2 мм) идиоморфные короткопризматические кристаллы, а также микрофенокристы таблитчатой формы. Отдельные кристаллы авгита

оказаны каймой, сложенной бронзитом. Как и гиперстен, клинопироксен изредка содержит микровключения ортопироксена, апатита, титаномагнетита.

Оливин присутствует в виде мелких (0.08–0.25) единичных зерен, отвечающих по составу хризолиту (рис. 7б). Некоторые кристаллы зональны. Зональность связана с увеличением фаялитового минала от центра к краю зерна (Fa_{20} и Fa_{29}). В редких случаях в оливине присутствуют включения магнетита и бронзита.

Рудные минералы чаще всего представлены мелкими и реже крупными зернами титаномагнетита изометричной или таблитчатой формы. Им, как правило, свойственно умеренное содержание окиси титана (8–9 мас. %). Часто его мелкие кристаллы встречаются в виде микровключений в авгите и гиперстене. В некоторых зернах титаномагнетита наблюдаются структуры распада.

Основная масса – интерсертальная, сложена микролитами и лейстами плагиоклаза олигоклаз-лабрадорового ряда (62–64 мол. % An), мелкими зернами авгита ($Wo_{42-34}En_{40-49}Fs_{17}$), а также редкими кристаллами бронзита ($Wo_3En_{68}Fs_{29}$) и титаномагнетита. Своеобразие пород заключается в наличии обратной зональности у плагиоклаза, а также в присутствии поздних бронзитовых выделений, явно неравновесных с ранними гиперстеновыми вкрапленниками. В геологической литературе подобные минералогические признаки обычно трактуются как результат смешения магм.

Кроме того, в большом количестве встречаются обломки измененных пород с пиритом, серой, гипсом, свидетельствующие о резургентном характере пирокластике. На это указывает также облик частиц – значительная часть обломков покрыта налетом гидроокислов железа.

Химический состав пепла извержения вулкана Экарма в 2010 г. (см. табл. 1), в пересчете на безводный остаток соответствует дациту с содержанием SiO_2 64.93–65.29 мас. %. Однако пород дацитового состава в постройке собственно вулкана

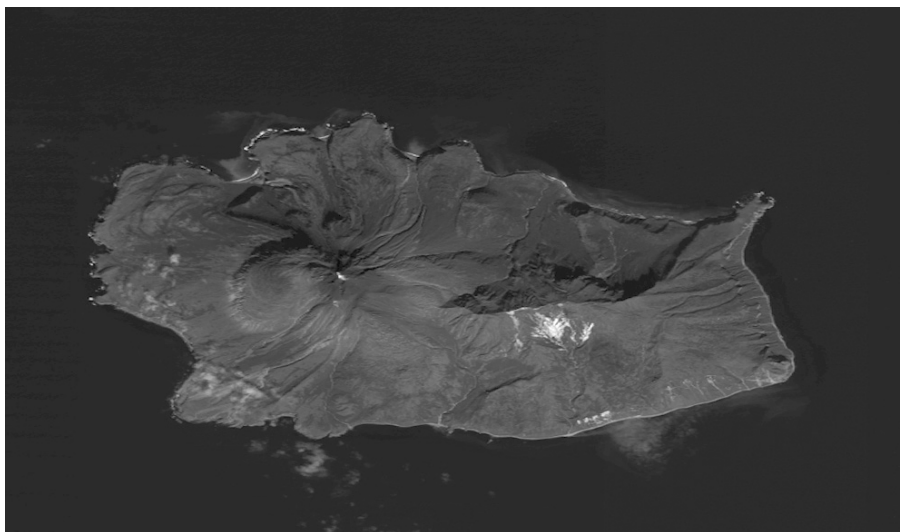


Рис. 8. Космический снимок острова Экарма (QuickBird), 20.09.2010 г. [Image's catalog ID, 101001000C504F00; sensor, QB02; band, Pan_MS1].

Экарма нет. По [Горшков, 1967; Авдейко и др., 1992], все проанализированные образцы пород — андезиты: пироксеновый андезит его лавовых потоков и роговообманковый андезит вершинной экструзии вулкана. Содержание SiO_2 в них в пересчете на безводный остаток — 56.77–60.24% SiO_2 . Поэтому более высокая кремнеземистость пепла извержения 2010 г., вероятнее всего, объясняется не первичным составом раздробленных пород, а относительным увеличением в нем содержания SiO_2 за счет их преобразования агрессивными вулканическими газами и интенсивного выщелачивания термальными водами других, менее стойких к этим процессам, его компонентов. Такой вывод хорошо согласуется и с представлением о резургентности пепла по данным минералогического анализа (см. выше).

Ориентировочный объем изверженного материала (преимущественно тефры) составляет порядка $2 \times 10^5 \text{ м}^3$, что соответствует VEI 1 [Newhall, Self, 1982]. Почти весь объем тефры выпал на о. Экарма, за его пределы была унесена только очень небольшая ее часть.

Следовательно, основываясь на представленной характеристике вулканического пепла, его распространении и объеме, можно заключить, что по типу извержение 2010 г. вулкана Экарма — эксплозивное многоцентровое, фреатическое, а по силе — слабое (возможно, до умеренного? в кульминационную фазу). Оно длилось дольше, чем предыдущее извержение 1980 г.

Оценивая экологический эффект извержения 2010 г. в целом, можно утверждать, что, несмотря на его небольшую силу и длительность, оно оказало заметное воздействие на экосистему острова, особенно на участках в радиусе до 1–1.5 км от

эруптивных центров. Так, с абсолютных отметок 250–300 м (~1.5 км от средней fumarолы) уже были встречены растения с признаками поражения, а на высоте около 550 м (~0.7 км от средней fumarолы) большинство растений было иссушено, самые крупные кустарники (ива, ольха) также имели явные следы воздействия (засохшие листья и пр.) вулканических агентов. Вероятно, основным поражающим фактором была не высокая температура тефры, поскольку тефра такой мелкой крупности (алевроит + тонкозернистый песок) у земной поверхности имеет низкую температуру и выпадает практически остывшей, а химический ожог водорастворимой оболочки пепловых частиц. Значительный урон был нанесен и обитавшим на острове птицам, особенно, гнездившимся поблизости от eruptивных центров.

Восстановление растительности, пострадавшей от пеплопада, начнется, вероятно, синхронно с очередным сезоном вегетации.

Геолого-геоморфологический эффект извержения 2010 г. был значительно скромнее. В частности, небольшие изменения произошли в строении долин ручьев и временных водотоков, по которым проходили лахары: в верховьях эти долины были несколько углублены, а в низовьях и в устьях на их дне отложился слой грязи с большим количеством обломочного материала. По бортам таких долин локально был уничтожен и почвенно-растительный слой. Вблизи eruptивных центров отложился грубый материал, выброшенный при взрывах.

Ситуация после извержения достаточно наглядно представлена на космическом снимке (рис. 8) QuickBird от 20 сентября 2010 г. (<http://browse.digitalglobe.com/imagefinder/showBrowseMetadata?catalogId=101001000C504F00>). На нем

хорошо видно, что слабая парогазовая активность сохранилась только на средней и верхней фумарольных площадках вулкана. Прослеживаются следы лахаров, сходивших как по южным, так и по северным склонам вулкана. Они фиксируются в море вблизи устьев крупных водотоков, где разносимый вдольбереговыми течениями материал образует участки с повышенным количеством взвешенных частиц, контрастирующих с окружающей акваторией (см. рис. 8), где такая взвесь отсутствует.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ, ВОЗМОЖНЫЙ ТИП И ПАРАМЕТРЫ БУДУЩЕГО ИЗВЕРЖЕНИЯ

Предполагаемый долгосрочный прогноз эруптивной активности вулкана Экарма сделан на основе реконструкции его эруптивной активности за последние 4500–5000 лет по результатам исследования разреза торфяника с 19 горизонтами пеплов мощностью от 0.5–1 до 17 см. Этот разрез находится в 3.2 км к ВСВ от вершины вулкана. Для определения возраста пеплов, заключенных в торфянике, получено 7 радиоуглеродных дат (см. рис. 3): в интервале от 760 ± 70 (ЛУ-6085) до 3660 ± 90 (ЛУ-6091)¹⁴C лет. Их календарный возраст от ~1260 г. до ~2050 г. до н.э. Кроме того, допускается, что самый верхний и самый мощный (17 см) горизонт тефры, по данным Г.С. Горшкова [1967], связан с наиболее сильным в историческое время извержением вулкана Экарма в 1767–1769 гг., когда возник кратер, заполненный сейчас вершинным экстрезивным куполом. Согласно наблюдениям за формированием современных экстрезивных куполов такого размера и типа на Камчатке и в других вулканических областях, его рост должен был продолжаться от 1–2 месяцев до 1–2 лет. Если это предположение соответствует действительности, то начавшийся в 1767 г. эпизод мощной активизации вулкана Экарма мог завершиться примерно в 1770–1771 гг. Использовались при расчетах и сведения о двух достоверно известных извержениях, произошедших в 1980 и 2010 гг.

Долгосрочный прогноз типа и параметров ближайшего извержения вулкана Экарма дан на базе принципов, специально разработанных для этой цели и использованных при решении аналогичной задачи на других вулканах [Melekestsev et al., 1989; Мелекесцев и др., 1992, 1993а, 1993б]. Суть их заключается в выявлении тенденции в динамике вулканической активности, установления стадии, на которой находится вулкан в настоящее время и, как следствие этого, в определении характера, а также типа и силы извержений, которые могут произойти именно на современном этапе развития конкретного вулкана. Это — главный “внутренний” фактор, определяющий доминирующие

особенности будущего извержения. В обязательном порядке учитывались и, так называемые, “внешние” факторы, способные повлиять на время начала извержения, его силу и тип: происшедшие поблизости субсинхронно катастрофические землетрясения, структурная позиция вулкана, глубина и строение его фундамента и др.

Для вулкана Экарма современная стадия эруптивной активности, судя по временному распределению горизонтов тефры в разрезе торфяника, началась приблизительно с 700–650 гг. после 500-летнего периода относительного покоя в начале нашей эры. Правда, сразу следует уточнить, что указанные и другие возрастные границы определены в грубом приближении, так как в нашем распоряжении оказался только один, а не несколько разрезов с вулканическими пеплами, расположенных вокруг по подножию вулкана. Кроме того, принадлежность всех пеплов к вулкану Экарма однозначно не установлена.

Для этой стадии выявлено четыре эпизода повышенной вулканической активности, разделенных интервалами с меньшей активностью (или относительного покоя) длительностью порядка 200–300 лет: 70–200, 670–840, 1150–1460, 1767–1771 гг. Каждый из таких эпизодов включал от минимум 2 до 4–5 извержений, временные промежутки между которыми не превышали 130–140 лет, а, вероятно, были еще и короче. Самый молодой из “спокойных” периодов длительностью около 200 лет продолжался, по-видимому, до 1980 г., после 1767–1769 гг., когда произошло первое известное историческое извержение вулкана Экарма. Причем, оно вряд ли было случайным, поскольку в сентябре 1980 г. наблюдалось [Иванов и др., 1981] извержение на соседнем вулкане Чиринкотан, а в апреле 1981 г. произошло катастрофическое извержение вулкана Алайд. Подобные, столь сближенные во времени, извержения для Северных Курил в XVIII–XX вв. — большая редкость.

Поэтому не исключено, что перечисленные выше и другие извержения вулканов второй половины XX в. Северных Курил — соответствующая “вулканическая” реакция на катастрофическое (М 8.5) землетрясение в ноябре 1952 г., эпицентральная зона которого располагалась в Тихом океане к востоку от островов Парамушир и Шумшу и побережия Южной Камчатки. Первыми на него отреагировали вулкан Татарина (взрыв с выбросом пепла 5 ноября 1952 г.) на о. Парамушир и вулкан Креницына на о. Онекотан. Там извержение произошло 12–19 ноября 1952 г., т.е. тоже почти сразу после землетрясения [Горшков, 1957].

В районе Центральных Курил впервые после длительного периода (минимум 200 лет) катастрофические землетрясения случились 15 ноября 2006 г. (М 8.3) и 13 января 2007 г. (М 8.1). Их эпицентральные зоны находились в Тихом океа-

не, к востоку от о. Симушир [Тихонов и др., 2008; Steblov et al., 2008 и др.]. После землетрясений на островах центральной части Курильской островной дуги (от северной оконечности о. Уруп до о. Харимкотан) отмечался интенсивный процесс релаксации напряжений с максимальными скоростями релаксаций (до 70–100 мм/год) на островах Симушир, Кетой, Матуа, расположенных ближе всех к эпицентральной зоне этих землетрясений. Именно они, вероятно, и послужили своеобразным триггером для начала нового этапа активизации вулканической активности на Центральных Курилах.

Здесь на произошедшие землетрясения уже отреагировали вулканы Пик Сарычева на о. Матуа (катастрофическое извержение в июне 2009 г.) и Экарма (извержение летом 2010 г.). Возможны, по аналогичной причине, в ближайшем десятилетии извержения и других вулканов Центральных Курил, особенно на о. Симушир (Пик Прево, Горящая сопка, кальдерный комплекс Заварицкого), ближайшем к эпицентральной зоне землетрясений 2006 и 2007 гг. Ранее перечисленные вулканы извергались последний раз: базальтовый вулкан Пик Прево — около 1760 г. и в начале XIX в. (200–250 лет назад), андезитовый вулкан Горящая сопка — в 1944 г. (67 лет назад), извержение в кальдере Заварицкого произошло в 1957 г. (54 года назад). Это обусловлено тем, что в районе Центральных Курил в 2006–2007 гг., по предположению И.В. Мелекесцева, произошла подвижка фронта магматического суперпотока, связанного с активной вихревой структурой [Мелекесцев, 2004] под Курильской глубоководной котловиной.

Не исключено также, что два случившихся катастрофических землетрясения в районе Центральных Курил 2006 (M 8.3) и 2007 (M 8.1) годов, вместе с еще более мощным (M 8.9) землетрясением 11 марта 2011 г. у побережья северной части о. Хонсю могут свидетельствовать о начале нового эпизода эндогенного катастрофизма в Курило-Японском звене островных дуг Северо-Западной Пацифики, как это было, например, в 1737–1742 гг. на Камчатке и Северных Курилах [Мелекесцев, 2005]. В то время катастрофические землетрясения сопровождалась там и мощным вулканизмом.

По аналогии с землетрясениями 2006 и 2007 гг. на Центральных Курилах допускается, что причина катастрофического японского землетрясения 11 марта 2011 г. — тоже быстрая подвижка фронта магматического суперпотока, но связанная уже с вихревой структурой [Мелекесцев, 2004] Японского моря. Только здесь подвижка была, вероятно, еще больше, так как косейсмическая и постсейсмическая релаксация измерялась метрами (e-mail: aria@jpl.nasa.gov or aria@caltech.edu).

Следовательно, в случае реальности подобного предположения, вполне вероятно и резкое усиление

в последующие 10–20 лет вулканической деятельности не только на Курильских островах, но и в Японии — на о. Хоккайдо и северной части о. Хонсю. Это может относиться и конкретно к вулкану Фудзи, неизвергавшемуся с 1707 г. Тем более, что на небольшой (10 км) глубине под его постройкой уже 15 марта 2011 г. произошло землетрясение с M 6.2 (http://quakes.globalincidentmap.com/map_detail.php?id=98883). Эпицентр находился в 7 км к ЮЗ от кратера вулкана. На земной поверхности (склон вулканической постройки с абсолютными отметками 1000–1500 м) в эпицентральной зоне должны были происходить толчки силой не менее 7–8 баллов по двенадцатибалльной шкале.

Что касается вулкана Экарма, где уже наблюдались после 210-летнего перерыва два фреатических извержения в 1980 и 2010 годах, то и здесь в будущем десятилетии тоже возможно продолжение его деятельности, но уже в виде более мощного извержения с выбросом ювенильной пирокластики и (или) излиянием лав. В пользу подобного предположения имеются следующие основания:

1. Современная динамика эруптивной активности вулкана Экарма — начавшийся по данным реконструкции истории развития вулкана за последние 1300–1400 лет, новый эпизод его повышенной эруптивной активности с уже произошедшими двумя фреатическими извержениями.

2. Нарушение прочности привершинной части постройки вулкана взрывами 1980 и 2010 гг., облегчившей поступление наверх свежего магматического вещества. Так было в ходе прошлых эпизодов, когда более слабые извержения сменялись сильными.

3. Наличие в постройке вулкана неглубоко залегающего сильно нагретого магматического вещества — источника тепла для интенсивных гидротермальных проявлений у подножия вулкана.

4. Закупорка кратера экструзивным куполом.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 09-05-00718а, 10-05-00797, 09-05-00003).

Авторы благодарят экипаж парусного учебного судна “Надежда” Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток, за активную помощь и доброжелательные отношения при доставке и высадке на острова Курильской гряды участников комплексной международной экспедиции 2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.

- Горшков Г.С. Каталог действующих вулканов Курильских островов // Бюлл. вулканол. станции. 1957. № 25. С. 96–178.
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
- Иванов Б.В., Чирков А.М., Дубик Ю.М. и др. Состояние вулканов Камчатки и Курильских островов в 1980 г. // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 99–104.
- Левин Б.В., Мелекесцев И.В., Рыбин А.В. и др. Экспедиция “Вулкан Пик Сарычева-2010” (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2010. № 6. С. 154–158.
- Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигаева Н.Г. и др. Комплексная экспедиция “Вулкан Сарычева-2009” (о. Матуа, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2010. № 1. С. 98–104.
- Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
- Мелекесцев И.В. Роль вихрей в происхождении и жизни Земли // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камч. Обществ. Фонда “Наука – для Камчатки”, 2004. С. 25–70.
- Мелекесцев И.В. Природная катастрофа 1737–1742 гг. на Камчатке как модель будущих региональных катастроф на островных дугах Северо-Западной Пацифики // Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Лаверов Н.П. М.: Наука, 2005. С. 553–571.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. I // Вулканология и сейсмология. 1993а. № 3. С. 69–81.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. II // Вулканология и сейсмология. 1993б. № 4. С. 24–42.
- Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. Новейший ($N_2^2-Q_4$) вулканизм Камчатки // Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Лаверов Н.П. М.: Наука, 2005. С. 107–232.
- Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3–32.
- Сноу Г. Записки о Курильских островах // Краеведческий бюллетень. 1992. № 1. С. 89–127.
- Тихонов И.И., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е. Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 3–17.
- Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Ponomareva V.V. Prediction of volcanic hazards on the basis of the study of dynamics of volcanic activity in Kamchatka // Volcanic hazards assessments and monitoring. (IAVCEI Proc. in Volcanology, № 1). Tokyo: Springer, 1989. P. 10–35.
- Newhall C.G., Self S. The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism // J. Geophys. Res. 1982. V. 87 (C2). P. 1231–1238.
- Steblov G.M., Kogan M.G., Levin B.V., et al. Spatially linked asperities of the 2006–2007 great Kuril earthquakes revealed by GPS // Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. (L22306, doi: 10.1029/2008GL035572).

A Weak Phreatic Eruption of June 2010 on Ekarma Volcano, Kuril Islands As a Possible Precursor of a Future Large Magmatic Eruption

A. V. Rybin^a, A. V. Degterev^a, E. A. Kravchunovskaya^b, M. V. Chibisova^a, A. S. Neroda^c,
I. V. Melekestsev^b, N. G. Razzhigaeva^d, S. A. Chashchin^e, S. A. Chirkov^b,
I. G. Koroteev^a, and Kh. A. Arslanov^f

^a Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Nauki 1B, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022 Russia

e-mail: rybin@imgg.ru

^b Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia

^c Il'ichev Pacific Institute of Oceanology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Baltiiskaya 43, Vladivostok, 690041 Russia

^d Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Radio 7, Vladivostok, 690041 Russia

^e Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
pr-t 100-letiya Vladivostoku 159, Vladivostok, 690041 Russia

^f St. Petersburg State University, St. Petersburg, V.O., 10 liniya 33, 199178, Russia

Abstract—We provide data concerning a weak phreatic eruption of Ekarma Volcano on Ekarma Island, in the Kurils, in June 2010. The ash plumes did not rise higher than 3 km above sea level. A preliminary estimate of the volume of erupted resurgent material (mostly tephra) is on order $2 \times 10^5 \text{ m}^3$. Reconstruction of the volcano's history and the dynamics of its eruptive activity for the last 4500–5000 years suggests that a larger eruption can occur during the next few decades that will discharge juvenile pyroclastics and/or lava.