

УДК 551.21

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И МЕХАНИЗМ ИЗВЕРЖЕНИЙ МААРОВ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

© 2006 г. А. Б. Белоусов, М. Г. Белоусова

Представлено академиком В.И. Коваленко 19.05.2005 г.

Поступило 24.05.2005 г.

Маары – моногенные вулканические постройки особой морфологии, с широким, округлым кратером, окруженным низким, пологим валом выброшенной пирокластике. Кратеры мааров глубоко врезаются в подстилающие отложения (часто до водоносного горизонта) и поэтому во многих случаях полностью или частично заполнены водой. Морфологические особенности мааров позволяют уверенно диагностировать их на аэрофотоснимках.

Маары широко распространены во многих вулканических районах мира и встречаются как среди полей ареального вулканизма, так и на склонах стратовулканов (кратеры побочных извержений). Установлено, что формирование мааров связано с процессом высокоэксплозивного взаимодействия поднимающейся магмы с подземными водами, поэтому их присутствие является индикатором фреатомагматического механизма извержений [11]. Представляемая работа содержит первую сводку по маарам Камчатки. Основной задачей работы была оценка роли фреатомагматического механизма при извержениях моногенных вулканов Камчатки и выявление факторов, контролирующих географическое положение извержений, формирующих маары.

Частота встречаемости и распространение мааров. Дешифрирование аэрофотоснимков и изучение литературных источников [3–9] позволило идентифицировать на территории Камчатки 22 маара с диаметром кратера более 200 м (табл. 1). На аэрофотоснимках маары меньшего размера трудно диагностируются; по нашим оценкам их количество не превышает 10. Таким образом, маары составляют менее 1% от общего количества моногенных вулкани-

ческих построек полуострова. Туфовые конусы и туфовые кольца, являющиеся также продуктами фреатомагматических извержений, еще более редки. Остальные типы моногенных вулканов, среди которых резко доминируют шлаковые конусы, образуются в результате извержений с преимущественно магматическим механизмом фрагментации магмы [11], поэтому можно сделать вывод, что на Камчатке роль извержений с преобладанием фреатомагматического механизма в целом незначительна.

Географическое распространение мааров на территории Камчатки крайне неравномерно (рис. 1), причем концентрация мааров не пропорциональна общему количеству моногенных построек в каждом отдельном районе. Так, в районе Ключевской группы вулканов широко распространены моногенные шлаковые конусы, а маары полностью отсутствуют. Практически нет мааров в Среднем хребте Камчатки, где ареальный вулканизм в форме изолированных шлаковых конусов, лавовых потоков и экструзивных куполов проявился очень интенсивно. Так как для фреатомагматического механизма извержения, кроме магмы, необходимым условием является наличие воды, мы сделали попытку оценить влияние этого фактора на локализацию маарформирующих извержений Камчатки.

В масштабе полуострова, концентрация мааров постепенно возрастает в направлении с севера на юг, достигая максимума на крайнем юге Камчатки. Сопоставление карты распространения плейстоцен-голоценовых вулканических пород и карты среднегодового количества атмосферных осадков показало, что маары сконцентрированы в вулканических районах с наиболее влажным климатом (осадков более 1200 мм/год) (рис. 1). Из этого можно сделать вывод, что во многих вулканических районах Камчатки маары не образуются из-за недостатка воды, необходимой для обеспечения фреатомагматического механизма извержений.

Несколько крупных мааров Камчатки образовались рядом с водоемами: Начикинский (Берингово море), Крокур (оз. Кроноцкое), Чаша (оз. Толмаче-

*Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Южно-Сахалинск
Институт вулканологии и сейсмологии
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук,
Петропавловск-Камчатский*

Таблица 1. Характеристики мааров Камчатки (с севера на юг) с диаметром кратера >200 м

Название маара	Возраст маара, лет назад	Диаметр кратера, км	Состав ювенильного материала
Начикинский	10000	1.6	Базальт
Кененин (оз. Блюдечко)	1100	1.6	То же
Крокур	4300	1.3	»
оз. Дальнее	3300	1.2	Андезито-базальт
Валентины	>10000	0.8	Базальт
оз. Сухое	>10000	2.0	То же
Колдобище	1200	0.3	»
оз. Чаша (гр.2)	4600	1.2; 0.4	Риолит
Бараний амфитеатр	1500	1.4	То же
Темное место* (гр.3)	8000	0.7; 0.2; 0.2	Базальт
Хетик*	?	0.3	Базальт (?)
Ходуткинский I (гр.2)	2800	0.8; 0.4	Риолито-дацит
Ходуткинский II* (гр.2) (оз. Черное)	?	0.6; 0.3	?
Крестовка*	?	0.8	Базальт (?)
оз. Круглое	9000(?)	0.8	То же
Ильинский I*	1901 г.	0.8	Андезит
Ильинский II*	?	0.3	?

Примечание. Звездочкой помечены безымянные маары, названия которым даны нами по названиям ближайших рек или вулканов; гр. – группа мааров с указанием числа кратеров. Округленный возраст и состав ювенильного материала мааров приведены по данным [3–9]. Для маара оз. Дальнее в [3] дан возраст 7700 лет назад, но мы считаем его одновозрастным с конусом Дуга – 3300 лет назад по [3]. Бараний амфитеатр и Ходуткинская группа I отнесены в [3, 7] к кратерам “субкальдерных извержений”; по морфологическим признакам они являются маарами. В ряде работ к маарам отнесен кратер Токарева, образовавшийся при извержении 1996 г. в оз. Карымское; по морфологическим признакам мы классифицируем его как туфовое кольцо [2, 10] и здесь не рассматриваем.

во), вода которых, фильтруясь через водоносный горизонт, очевидно, участвовала в извержении. Эхолотный промер маара Чаша показал, что несколько лет назад уровень находящегося в нем озера резко поднялся на 18 м (максимальная глубина увеличилась до 42 м), когда на такую же высоту был искусственно поднят уровень воды в близко расположенном крупном озере Толмачево (результат строительства плотины). Таким образом, два озера гидродинамически тесно связаны через водоносный горизонт.

Большинство мааров Камчатки образовалось в низменностях, где подземные воды залегают очень близко к поверхности. Если эруптивная трещина пересекает расчлененный рельеф, маары, как правило, располагаются на гипсометрически наиболее низкорасположенном участке трещины, в то время как на более высоких участках сформировались шлаковые конусы и лавовые потоки. Например, маар оз. Дальнее образовался внутри впадины кальдеры Узон, а на продолжении эруптивной трещины, на высоком борту кальдеры образовался шлаковый конус Дуга, из которого излился лавовый поток. Аналогичная закономерность выявлена для мааров Эй-

феля [12]. Таким образом, для формирования маара необходимо, чтобы обильный водоносный горизонт располагался достаточно близко к поверхности (менее первых сотен метров). При более глубоком залегании водоносного горизонта взрывного взаимодействия магмы с водой не происходит, так как высокое литогидростатическое давление подавляет эксплозивный процесс.

Морфология мааров. Диаметр кратеров мааров Камчатки достигает 2 км, но преобладают небольшие маары с диаметром кратера <0.5 км (рис. 2). Размер маара зависит от силы и продолжительности образовавшего его эксплозивного извержения, поэтому большинство маарформирующих извержений Камчатки были относительно слабыми. Глубина кратеров мааров составляет десятки – сотни метров, однако их первоначальная глубина не известна, так как они частично заполнены водой и/или озерными отложениями, а иногда продуктами последующих магматических стадий извержений.

Большинство мааров Камчатки образуют отдельные одиночные постройки, но встречаются и тесно сплоченные группы мааров, как кустовые (например, группа Темное место, состоящая из

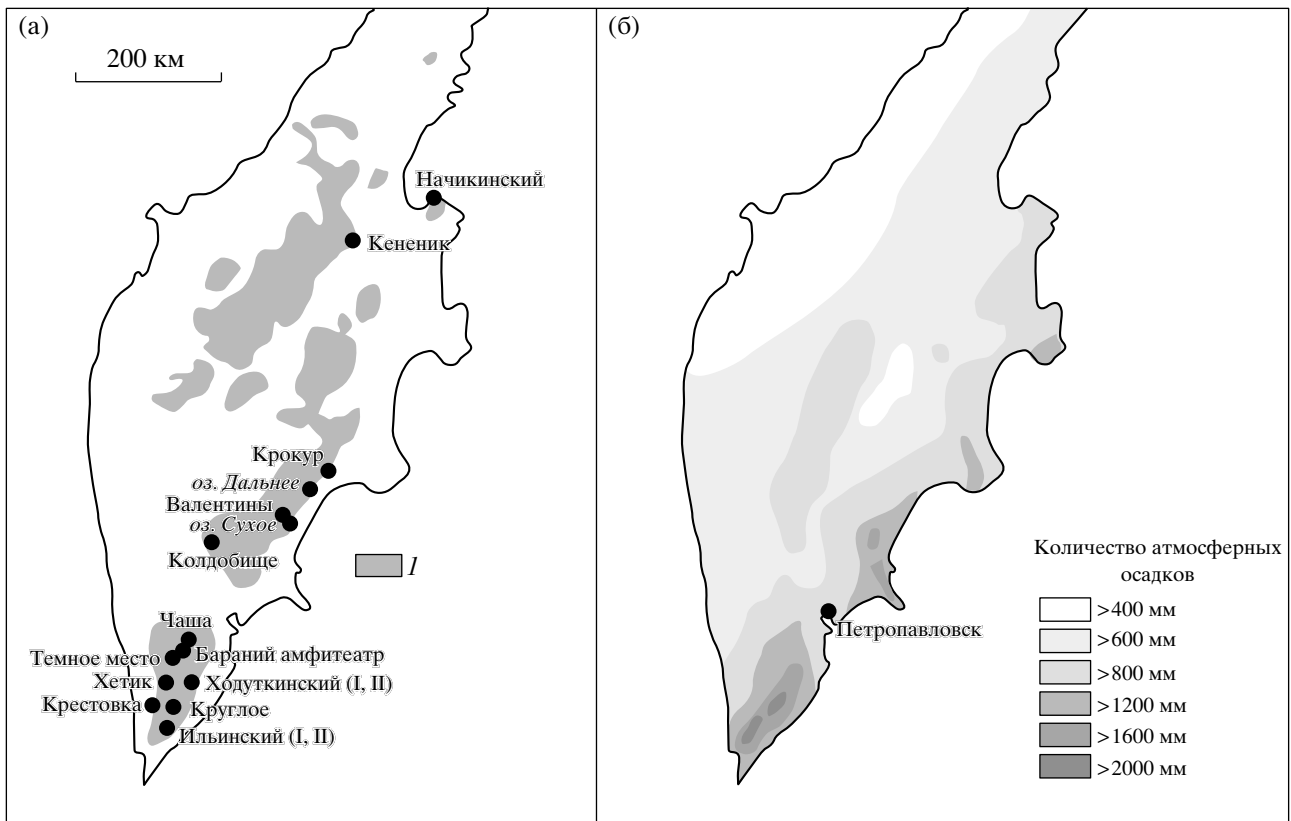


Рис. 1. Географическое распространение мааров (а) и количество атмосферных осадков (б) на территории Камчатки. Большинство маарформирующих извержений произошло в районах, где вулканизм сочетается с наиболее влажным климатом. Распространение вулканитов (I – плейстоцен-голоценовые вулканиты) по [9], количество осадков по [1].

трех мааров), так и линейные (группа Чаша, состоящая из сухой воронки и двух слившихся кратеров, занятых озером).

Такие морфологические черты многих мааров Камчатки, как наличие внутрикратерного шлакового конуса, экструзивного купола или лавового потока, свидетельствуют о том, что на заключительной стадии их формирования, происходил переход от фреатомагматического механизма извержения к магматическому. Это показывает, что во многих случаях, водоносные горизонты Камчатки не могли обеспечить приток воды к магматическому каналу, достаточный для поддержания фреатомагматического механизма фрагментации магмы в течение всего времени извержения.

Отложения. Большинство мааров Камчатки образовалось при извержениях основных магм, но встречаются маары, образованные кислыми магмами (до риолитов). Максимальная толщина пирокластических отложений мааров достигает нескольких десятков метров. Отложения мааров (нами изучены Крокур, Дальнее озеро и Чаша) в целом однотипны и представлены чередованием слоев тефры и базисных пирокластических волн (каждый толщиной до нескольких десятков сантиметров). Отложения часто содержат аккреци-

онные лапилли – свидетельство конденсации больших количеств водяного пара в эруптивном облаке. Формирование каждого маара происходило в ходе одного извержения, состоявшего из

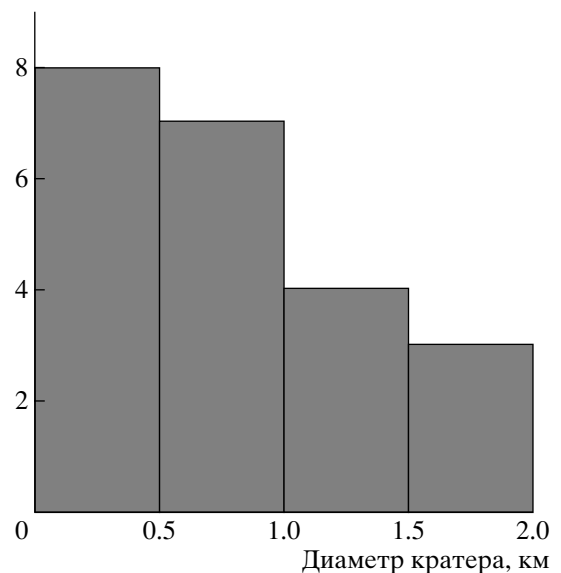


Рис. 2. Диаметр кратеров мааров Камчатки.

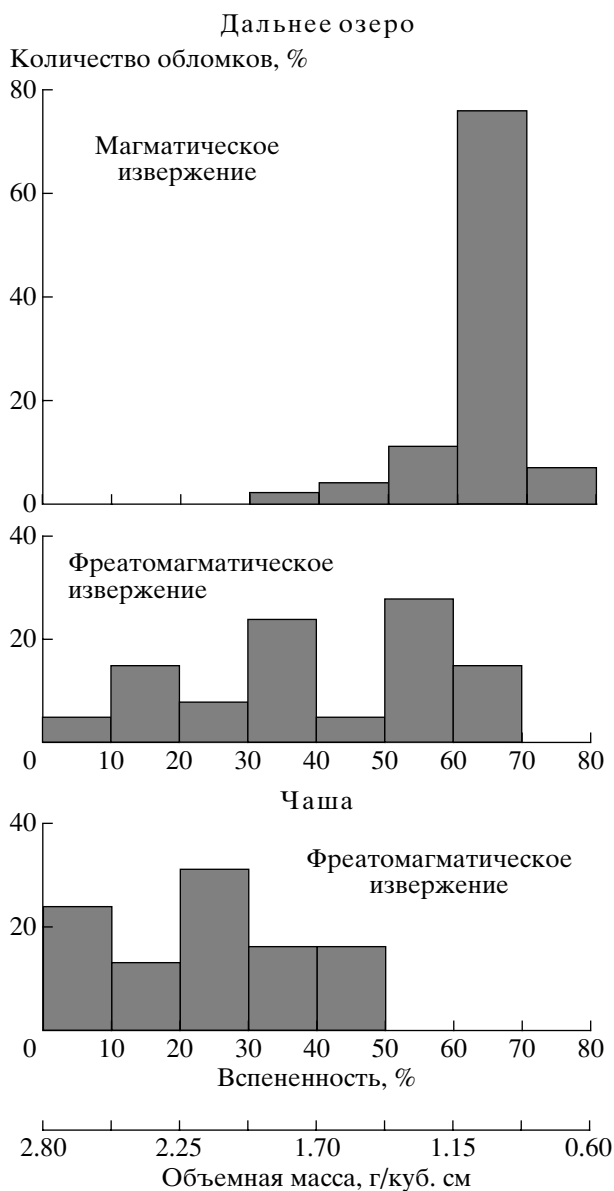


Рис. 3. Распределение объемной массы (степени вспененности) ювенильных пирокластических частиц мааров Чаша (риолит) и оз. Дальнее (андезито-базальт). Для оз. Дальнее приведены данные для начальной (фреатомагматической) и заключительной (магматической) стадий извержения.

серии (десятки–сотни) отдельных, следовавших один за другим, взрывов. Это отражает очень неустойчивый, пульсирующий характер эруптивного процесса при взаимодействии магмы с водой.

Отложения состоят из смеси обломков ювенильного (свежая магма) и резургентного материала (раздробленные породы основания, образованные при формировании кратерной воронки маара). Ювенильный материал каждого извержения имеет относительно низкое среднее значение степени вспененности (большая объемная масса пирокластических частиц) и широкое полимо-

дальнее распределение значений вспененности по сравнению с продуктами чисто магматических извержений (рис. 3). Это говорит о закалке магмы водой на различных стадиях выделения летучих (прерванное вспенивание магмы) и, наряду с блоковой морфологией большинства пирокластических частиц, свидетельствует о доминировании фреатомагматического механизма при формировании мааров Камчатки. В некоторых случаях (например, маар оз. Дальнее), в верхней части разреза отложений, наблюдается резкое увеличение степени вспененности ювенильного материала (рис. 3), что связано с прекращением доступа воды к магматическому каналу в конце маарформирующих извержений и переходом механизма фрагментации магмы от фреатомагматического к магматическому.

Возраст. Большинство мааров Камчатки имеет голоценовый возраст, и только некоторые, достаточно условно, отнесены к позднему плейстоцену. Маары доголоценового возраста, вероятно, или захоронены под более молодыми вулканогенными отложениями или уничтожены последним оледенением. Имеющиеся данные показывают, что образование мааров Камчатки происходило относительно равномерно на протяжении всего голоцена.

Работа выполнена при финансовой поддержке фондов РФФИ и CRDF.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас СССР. М., 1984.
2. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Муравьев Я.Д. // ДАН. 1997. Т. 354. № 5. С. 648–652.
3. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4–5. С. 5–31.
4. Дирксен О.В., Мелекесцев И.В. // Вулканология и сейсмология. 1999. № 1. С. 3–19.
5. Дирксен О.В., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С. 3–10.
6. Иванов Б.В. Извержение Карымского вулкана в 1962–1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 135 с.
7. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И. и др. // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 3–24.
8. Певзнер М.М. В сб.: Тезисы IV международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 72–74.
9. Действующие вулканы Камчатки / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1991.
10. Belousov A., Belousova M. Volcanoclastic Sedimentation in Lacustrine Settings. 2001. IAS Spec. № 30. P. 35–60.
11. Francis P. Volcanoes: a Planetary Perspective. Oxford: Clarendon Press, 1993.
12. Lorenz V. // Bull. Volcanol. 1973. V. 37. P. 183–204.