

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

© 2011 г. И. Н. Тихонов, А. В. Рыбин, М. В. Чибисова

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б
Tikhonov@imgg.ru

Поступила в редакцию 06.07.2010 г.

На основе разработанной И.Н. Тихоновым методики (2004 г.), и данных об извержениях вулканов Курильской островной дуги за 1914–2009 гг. осуществлен поиск возможных периодичностей (в диапазоне 100–10000 суток), влияющих на время начала извержений. Для извержений с интенсивностью $I \geq 2$ по шкале Симкина–Сиберта выявлена статистически значимая (с вероятностью $P = 99\%$) периодичность $T = 1739$ суток. Найденная цикличность составляет $\frac{1}{4} \cdot T_0$, где T_0 – 18.6-летний период прецессии лунной орбиты. Если данное совпадение не случайно, то существует взаимосвязь извержений с определенным интервалом фаз лунного цикла.

Ключевые слова: *Курильские острова, вулканы, извержения, типы извержений, распределения извержений, периодичности.*

ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике для обеспечения безопасности населения от вулканических извержений создаются системы мониторинга, использующие различные дистанционные геофизические и геохимические методы, среди которых основную роль играет сейсмический метод. Важным источником информации служат также материалы космического зондирования. В России первая оперативная служба слежения за сейсмическим режимом вулканов была создана в 1964 г. на Камчатке [5]. Эффективность данного способа была особенно ярко продемонстрирована в ходе краткосрочных прогнозов начала и развития Большого трещинного извержения вулкана Толбачик, происшедшего с 5 июля 1975 г. по 10 декабря 1976 г. В основном, благодаря оперативному сбору и анализу данных сейсмического метода, удалось точно предсказать начало извержения, образование Третьего конуса и правильно оценить обстановку перед возникновением Четвертого конуса.

Совершенствование инструментальных методов краткосрочного прогноза вулканических извержений позволило камчатским исследователям предсказать практически все сильные извержения, произошедшие за последние десятилетия [9, 28, 37]. Для территории Курильских островов также необходим мониторинг состояния недр под вулканами, однако, в силу отдаленности и слабой освоенности островов, такой комплексной системы не существует. Одиночные сейсмические станции на островах Кунашир, Итуруп и Парамушир не способны решить данную проблему. В силу удаленности вулканов друг от друга, нужны локальные сети наблюдений за их состоянием практически на каж-

дом большом острове Курильской гряды. Пока же ежедневные наблюдения за вулканической активностью осуществляются здесь только с помощью дистанционных спутниковых методов [43]. С учетом этого, особую актуальность представляют исследования циклов активности вулканов Курильских островов. Выявленные закономерности можно использовать далее для оценки интервалов времени, в течение которых ожидается повышенная вероятность возникновения извержений.

В данной работе впервые делается попытка поиска возможных периодичностей, синхронизирующих начало извержений вулканов Курильской островной дуги на основе метода [30], апробированного на сильных землетрясениях. Если таковые цикличности будут обнаружены и окажутся информативными для целей долгосрочного прогноза извержений, то появится возможность выделять интервалы времени, в течение которых вероятность возникновения сильных извержений значительно возрастает. В обычно публикуемых долгосрочных прогнозах тревожные периоды растягиваются, как правило, на 5–10 и более лет [15, 33]. В данной работе, лишь отчасти затрагивающей проблему прогноза вулканических извержений, показывается возможность получения более коротких тревожных периодов. Основная же цель статьи – поиск периодичностей, синхронизирующих сильные извержения.

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ

Суть используемого способа [30–32] заключается в отображении моментов начала извержений (событий) исследуемого района, взятых из многолетнего каталога, на кольцо, то есть, на полуинтервал

$[0, 1)$ с отождествленными концами. С этой целью для любого заданного цикла рассчитывается значение условной фазы цикла θ ($0 \leq \theta < 1$) на дату возникновения извержения. Это значение вычисляется с помощью следующих выражений:

$$\theta = (t - t_0)/T, \text{ если } t - t_0 \geq 0;$$

$$\theta = (T + (t - t_0))/T, \text{ если } t - t_0 < 0,$$

где t – юлианская дата начала извержения; t_0 – юлианская дата начала (конца) цикла, ближайшая к дате извержения.

В результате такого отображения получаем распределение точек (извержений) по кольцу, для которого решается задача статистической проверки гипотезы H_0 о равномерности распределения $F = F_0$ против альтернативы $H_1: F \neq F_0$. Степень неравномерности распределения оценивается на основе статистики K с помощью критерия Куипера [22, 42]. Среди всех получаемых распределений случайных фаз на кольце для разных циклов интерес представляют только те, которые статистически значимо отличаются от равномерных. Для них характерно наличие областей сгущения событий и окон разрежения (покоя), в пределах которых извержения отсутствуют.

Описанная процедура расчета реализуется в максимально широком диапазоне периодов, ограниченном только длительностью исследуемых рядов. Обычно этот диапазон охватывает цикличности с периодами от нескольких суток до десятков лет.

Поскольку обрабатываемые выборки извержений, как правило, невелики, то существует опасность выделения ложных периодичностей. Поэтому полученные оценки локальных максимумов статистики K нуждаются в проверке на стабильность. Процедура испытаний локальных максимумов статистики K на стабильность заключалась в многократном повторении расчетов по укороченным выборкам, которые формировались путем последовательного перебора и удаления из исходной выборки примерно 20% событий. Данный процент сокращения объема первоначальной выборки подобран экспериментально. В результате повторных расчетов неустойчивые локальные экстремумы статистики K либо становились статистически незначимыми, либо исчезали вообще, а устойчивые – сохраняли свою значимость и на выборках меньшего объема.

Далее статистически значимые и устойчивые распределения анализируются на предмет их информативности. Она оценивается по соотношению окон покоя и тревоги (интервалов разрежения и сгущения событий на кольце). Чем больше это соотношение, тем выше информативность рассматриваемой периодичности. Цикличности, прошедшие отбор по указанным критериям используются далее для прогнозной оценки опасных интервалов времени, в течение которых наиболее вероятно возникновение извержений.

На заключительной стадии исследований ретроспективно оцениваются следующие ожидаемые количественные характеристики двух типов интервалов наблюдений (тревог и покоя): общая длительность каждого из них, средняя частота появления событий (извержений с $I \geq 2$) в год на каждом интервале, вероятность возникновения хотя бы одного события в год в случае регистрации Пуассоновского потока.

Суммируя сказанное выше, перечислим кратко схему обработки данных. На каждом шаге последовательного перебора для конкретной периодичности T_i реализуются 5 этапов обработки:

- 1) разбиение интервала наблюдений в каталоге извержений на отдельные развертки длительностью T_i (за начало первой развертки принимается момент времени 01.01.1900 г. в 00 час);
- 2) отображение событий каталога в виде точек на соответствующие развертки;
- 3) формирование суммарной развертки для получения распределения землетрясений;
- 4) расчет статистики Куипера для этого распределения путем последовательного перебора по заданному интервалу периодов с заданным шагом их изменения;
- 5) выявление статистически значимых периодичностей T_i , проверка их на стабильность и информативность.

Периодичности, наилучшие по данным параметрам, используются далее в прогнозных целях.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

Большая Курильская гряда расположена в зоне взаимодействия Североамериканской и Тихоокеанской литосферных плит. Образование Курильской гряды как структурного элемента на лике Земли началось 10–15 млн. лет назад. По геологическим меркам времени это очень молодая структура. Острова гряды сложены преимущественно вулканическими образованиями или продуктами их разрушения. Это является свидетельством грандиозных вулканических процессов, за счет которых образовался современный рельеф Курильских островов (рис. 1).

Общая протяженность Курильских островов от южной оконечности Камчатки до острова Хоккайдо составляет около 1180 км. Особенности подводного рельефа (в виде глубоководных проливов Круженштерна и Буссоля), и строения земной коры [29] позволяют разбить Большую Курильскую гряду на три части: северную, центральную и южную. К Северным Курильским островам относятся острова Шумшу, Атласова, Парамушир, Онекотан, Харимкотан, Шиашкотан, Экарма и Чиринкотан, протяженность которых составляет около 350 км. Острова Райкоке, Матуга, Расшуа, Ушишир, Кетой и Симушир, протягивающиеся примерно на 250 км, при-

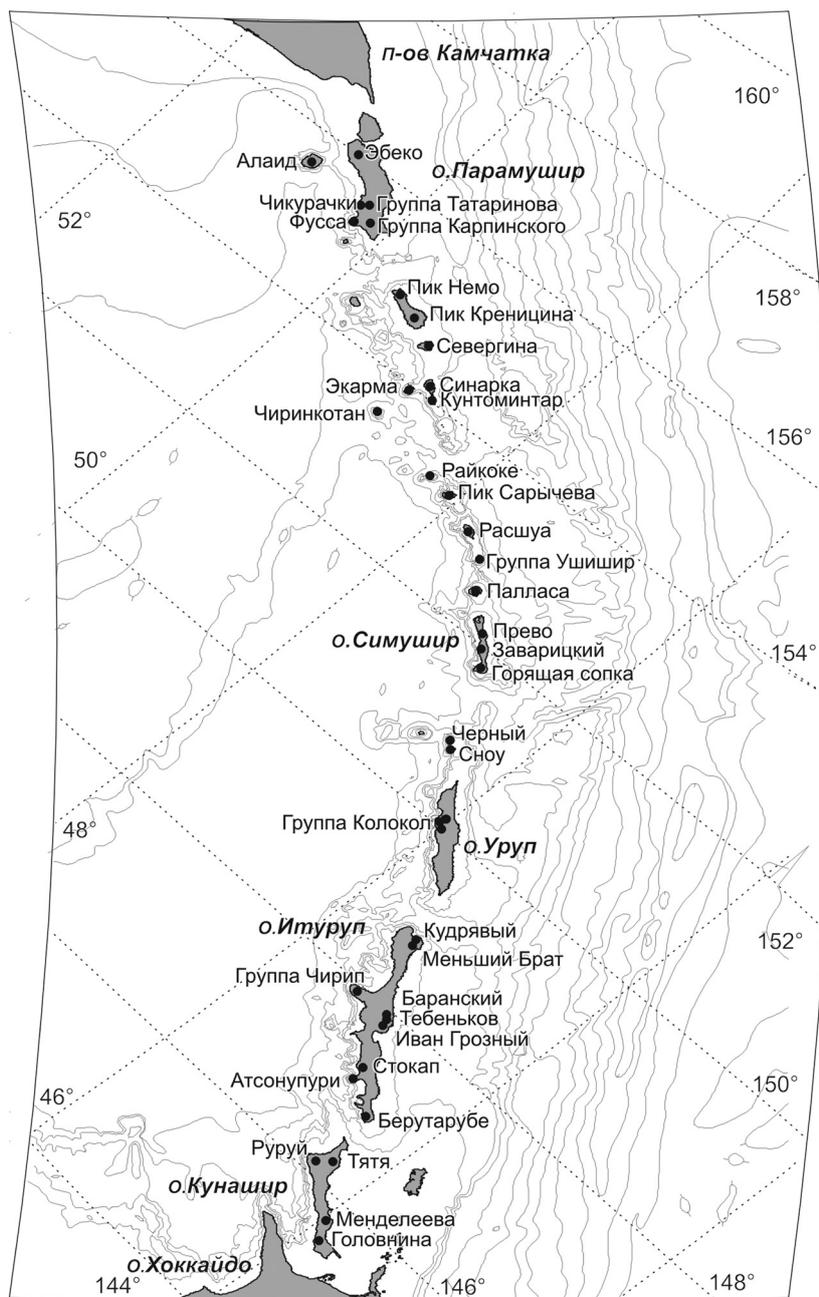


Рис. 1. Карта-схема расположения изучаемых активных вулканов на территории Курильских островов.

надлежат к Центральным Курильским островам. Южную часть Курильской гряды составляют соответственно острова Чирпой, Уруп, Итуруп и Кунашир (общая протяженность 580 км).

В пределах островной суши Курильской островной дуги выделяется 68 наземных вулканов, среди которых 36 являются действующими и потенциально опасными [43]. Некоторые из них извергались на памяти людей, другие проявляют признаки активности и в настоящее время. На Курильских островах слабые извержения происходят примерно раз в 1–2 года, умеренные – раз в 11 лет, средние – раз в

22, сильные – раз в 33 года, очень сильные (гигантские) – раз в столетие. Катастрофических кальдерообразующих извержений в историческое время не происходило, однако, по данным радиоуглеродных определений, они имели место 7–9 и 39.3–42.2 тыс. лет тому назад [26].

Для вулканов Курильских островов характерны извержения наиболее опасного, эксплозивного (взрывного) типа, при которых радиус поражаемой зоны может достигать 25–30 км. Подобные извержения часто сопровождаются палящими тучами, а также излияниями пирокластических и грязекамен-

ных потоков, протяженность которых достигает нескольких километров.

В связи с тем, что Курильские острова являются труднодоступным регионом, наблюдение за активными вулканами в основном происходит, как сказано выше, при помощи дистанционных спутниковых методов. На базе Института морской геологии и геофизики ДВО РАН создана группа SVERT (Сахалинская группа реагирования на вулканические извержения). В течение шести лет ведется прием, первичная обработка и оперативный анализ космических снимков территории Курильских островов.

За историческое время (с 1712 г.) на Курильских островах отмечено 115 событий различной интенсивности, от повышенной фумарольной активности до катастрофических извержений. За период 1900–1913 гг. извержений не отмечено, а с 1914 г. зафиксировано 71 событие. В данной работе обработан материал за период 1914–2009 гг., содержащий точные даты начала извержений по литературным данным для 48 событий (табл. 1). В двух случаях, когда начало извержений известно с точностью до месяца, за дату принималась середина этого месяца. Такое приближение, по-видимому, оправдано, поскольку длительность изучаемых периодичностей составляет сотни и более суток.

Из 48 обработанных событий 26 относятся к району Северных Курильских островов, 13 – к Центральному району и 9 – к Южному. Самыми активными в анализируемый период наблюдений оказались 3 вулкана: Чикурачки (9 извержений), Сарычева (8 извержений) и Эбеко (7 извержений). Остальные 16 вулканов проявляли свою активность не более трех раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, извержения вулканов характеризуются большим разнообразием по силе и типам протекания процесса. Поэтому в идеале в качестве объекта исследования следовало бы выбирать отдельные вулканы, если бы для каждого из них имелась представительная выборка извержений. Однако, даже для наиболее активного вулкана Чикурачки за рассматриваемый период зафиксировано лишь 9 извержений. С точки зрения статистической обработки, такой объем выборки не репрезентативен. Таким образом, ограничимся обработкой данных об извержениях в пределах всех Курильских островов.

Предварительная обработка всей совокупности данных показала неравноценность разных типов извержений. Поэтому были проанализированы три подвыборки данных:

1) слабые (фреатические и фреато-магматические) извержения с интенсивностью $I = 0$ по шкале Simkin, Siebert [44];

2) слабые взрывные извержения с $I = 1$;

3) сильные взрывные извержения с $I \geq 2$.

Рассмотрим первую подвыборку из 14 событий. При расчете статистики Куипера по этим данным только в диапазоне периодов от 100 до 1000 суток было получено множество значимых локальных максимумов. Например, 10 максимумов оказались значимыми с вероятностью $P \geq 99\%$. С целью исключения ложных периодичностей они были подвергнуты проверке на стабильность. Выше уже говорилось об этой опасности, поскольку ложные периодичности наблюдаются иногда даже при обработке массивов псевдослучайных чисел. Было установлено, что извержения с $I = 0$ играют роль своеобразной шумовой компоненты, поскольку все локальные максимумы оказались неустойчивыми.

Все извержения данного типа наблюдались в теплое время года и отсутствовали в зимнее время (с 8 октября по 7 февраля). Одной из причин такой сезонной аномалии могло быть поступление воды в теплое время года в приповерхностные очаги, то есть основной причиной могли явиться местные локальные факторы. С учетом сказанного, в дальнейшем слабые извержения были исключены из рассмотрения.

Подвыборка из слабых взрывных извержений с интенсивностью $I = 1$ также характеризовалась множеством значимых, но неустойчивых локальных максимумов статистики Куипера. Следует заметить, что в данную подвыборку из 13 событий основной вклад внес вулкан Чикурачки (8 извержений) и по одному извержению – 5 других вулканов. Эти извержения также были исключены из рассмотрения.

Результат обработки оставшейся подвыборки из 21 события с интенсивностью $I \geq 2$ показан на рис. 2. На нем изображен график зависимости осредненной статистики Куипера от частоты в диапазоне частот $(0.0001-0.01)$ сутки⁻¹ или, соответственно, для периодов от 100 до 10 тыс. суток. Горизонтальной линией на данном графике отмечен уровень значимости статистики Куипера, соответствующий вероятности $P \geq 99\%$, достижение или превышение которого должно свидетельствовать о неслучайности найденных периодичностей. Цифрами на графике отмечены значения периодов, превышающие пороговый уровень $K_n = 1.91$.

Данный расчет позволил выделить значимые (с вероятностью $P \geq 99\%$) локальные максимумы статистики Куипера на пяти периодах (в сутках): $T = 168.5$ ($K = 1.98$), 196.1 (2.08), 265.6 (1.97), 362.2 (2.01), 1739.4 (1.92). Все максимумы, кроме последнего, оказались неустойчивыми. Таким образом, впервые удалось установить возможную периодичность извержений вулканов Курильской гряды для наиболее опасного, взрывного (взрывного) типа с $I \geq 2$. С другой стороны именно такие события представляют наибольший интерес в задаче прогнозирования периодов повышенной вероятности возникновения извержений.

Таблица 1. Сведения об извержениях вулканов Курильских островов за 1914 – 2010 г.г., для которых имеются точные даты начала извержений по литературным данным

№№	Вулкан	Остров	Дата	Тип извержения	I	Ссылка (цифровая и фамильная)
1	2	3	4	5	6	7
1	Горящая Сопка	Симушир	4 июня 1914 г.	Эксплозивный	2	[10], Горшков, 1957
2	Пик Прево	Симушир	29 июня 1914 г.	Повышенная фумарольная активность	0	[10], Горшков, 1957
3	Пик Сарычева	Матуа	17–22 января 1923 г.	Эксплозивный	2	[12], Горшков, 1967
4	Райкоке	Райкоке	15 февраля 1924 г.	Эксплозивный	3	[12], Горшков, 1967
5	Пик Сарычева	Матуа	14 февраля 1928 г.	Эксплозивный	2	[45], Tanatadate, 1931
6	Пик Сарычева	Матуа	13 февраля 1930 г.	Эксплозивный	3	[45], Tanatadate, 1931
7	Севергина	Харикотан	9 января 1933 г.	Эксплозивный	3	[12], Горшков, 1967
8	Алайд	Атласова	20 октября 1933–1934 г.г.	Эксплозивно-эффузивный	3	[14], Гущенко, 1979
9	Эбеко	Парамушир	4 октября 1934–1935 г.г.	Эксплозивный	2	[12], Горшков, 1967
10	Пик Сарычева	Матуа	9–19 ноября 1946 г.	Эксплозивный	3	[8], Главацкий и др., 1948
11	Группа Карпинского	Парамушир	5 ноября 1952 г.	Фреато-магматический	0	[10], Горшков, 1957
12	Пик Креницина	Онекотан	12–19 ноября 1952 г.	Эксплозивный	2	[10], Горшков, 1957
13	Заварцкого	Симушир	12 ноября–начало декабря 1957 г.	Эксплозивно-экструзивный	3	[11], Горшков, 1960
14	Чикурачки	Парамушир	26–27 мая 1958 г.	Эксплозивный	2	[12], Горшков, 1967
15	Пик Сарычева	Матуа	30 августа 1960 г.	Эксплозивный	2	[40], Шилов, 1962
16	Пик Палласа	Кетой	27 сентября 1960 г.	Эксплозивный	1	[12], Горшков, 1967
17	Сноу	Чирпой	20 октября 1960 г.	Эксплозивный	1	[12], Горшков, 1967
18	Чикурачки	Парамушир	2–17 мая 1961 г.	Эксплозивный	1	[36], Федорченко и др., 1963
19	Эбеко	Парамушир	8 марта–апрель 1963 г.	Фреатический	0	[17], Кирсанов и др., 1964
20	Чикурачки	Парамушир	1 февраля 1964 г.	Эксплозивный	1	[2], Абдурахманов и др., 1976
21	Пик Сарычева	Матуа	9 декабря 1965 г.	Эксплозивный	2	[14], Гущенко, 1979
22	Эбеко	Парамушир	8 февраля–март 1967 г.	Фреатический	0	[25], Меняйлов и др., 1969

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
23	Иван Грозный	Итуруп	Февраль 1968 г.	Фреато-магматический?	0	[1], Абдурахманов и др., 1990
24	Алад	Атласова	18 июня–11 сентября 1972 г.	Эффузивно-эксплозивный	2	[3], Авдейко Г.П., и др., 1974
25	Иван Грозный	Итуруп	16 мая 1973 г.	Фреато-магматический?	0	[1], Абдурахманов и др., 1990
26	Тяга	Күнашир	14 июля 1973 г.	Эксплозивный	3	[2], Абдурахманов и др., 1976
27	Берга	Уруп	25 июля 1973 г.	Фреато-магматический?	0	[2], Абдурахманов и др., 1976
28	Чикурачки	Парамушир	6–20 сентября–16 октября 1976 г.	Эксплозивный	1	[18], Кирсанов и др., 1975
29	Пик Сарычева	Матуа	23 сентября–16 октября 1976 г.	Эксплозивно-эффузивный	2	[4], Андреев и др., 1978
30	Экарма	Экарма	24 мая 1980 г.	Эксплозивный	2	[16], Иванов и др., 1981
31	Алад	Атласова	27 апреля 1981 г.	Эксплозивный	2	[38], Федотов и др., 1982
32	Тяга	Күнашир	10–14 февраля 1982 г.	Фреатический	0	[23], Мархинин, 1983
33	Чикурачки	Парамушир	19 ноября 1986 г.	Эксплозивно-эффузивный	3	[27], Овсянников и др., 1992
34	Эбеко	Парамушир	14 октября 1987–1990 гг.	Фреатический	1	[24], Месяцлов и др., 1992
35	Иван Грозный	Итуруп	3 мая 1989 г.	Эксплозивный	1	[1], Абдурахманов и др., 1990
36	Эбеко	Парамушир	16–22 марта 1998 г.	Фреатический	0	[34], Фазлуллин и др., 1998
37	Кудрявый	Итуруп	7–8 октября 1999 г.	Фреатический	0	[19], Коржинский и др., 2004
38	Чикурачки	Парамушир	25 января–конец апреля 2002 г.	Эксплозивный	1	[6], Гирина и др., 2005
39	Чикурачки	Парамушир	17 апреля–16 июня 2003 г.	Эксплозивный	1	[6], Гирина и др., 2005
40	Чиринкотан	Чиринкотан	21 июля 2004 г.	Эксплозивный	0	[43], Rubin et al., 2004
41	Эбеко	Парамушир	8–16 февраля 2005 г.	Фреато-магматический?	0	[6], Гирина и др., 2005
42	Чикурачки	Парамушир	10 марта–7 апреля 2005 г.	Фреатический	1	[6], Гирина и др., 2005
43	Берга	Уруп	Июль–август 2005 г.	Эксплозивный	0	[39], Чибисова, 2007
44	Севергина	Харимкотан	28 августа 2006 г.	Фреато-магматический?	0	[39], Чибисова, 2007
45	Чикурачки	Парамушир	4 марта–7 апреля 2007 г.	Эксплозивный	1	[7], Гирина и др., 2008
46	Чикурачки	Парамушир	19 августа–20 октября 2007 г.	Эксплозивный	1	[7], Гирина и др., 2008
47	Эбеко	Парамушир	29 января–7 апреля 2009 г.	Эксплозивный	0	[20], Котенко и др., 2009
48	Пик Сарычева	Матуа	11–19 июня 2009 г.	Эксплозивно-эффузивный	4	[21], Левин и др., 2009

Примечание. I – шкала интенсивности, используемая при присвоении “показателя вулканической активности” [44].

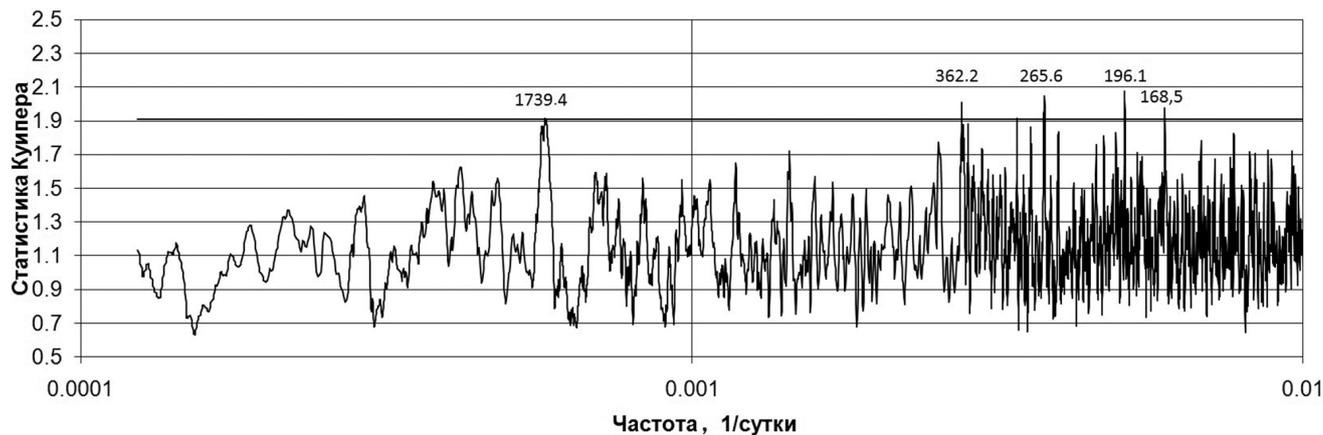


Рис. 2. График зависимости осредненных значений статистики Куипера (K) от значения частоты для сильных ($I \geq 2$) вулканических извержений Курильской гряды.

Осреднение выполнено в скользящем окне по трем точкам. Горизонтальная линия – пороговый уровень значимости статистики $K_n = 1.91$, соответствующий вероятности $P \geq 99\%$. Цифры на графиках – значения периодов локальных максимумов (в сутках), значимых при данном пороговом уровне. Объем выборки – 21 событие.

Степень неравномерности распределения отображаемых извержений вдоль суммарной развертки кольца [0.1] для этого периода показана на рис. 3. Из него видно, что “чистого” разделения развертки на компактную область сгущения и область разрежения событий не наблюдается. В качестве окна тревоги можно выбрать диапазон фаз (0.838–1.0, 0–0.325) шириной 0.487. Тогда из 21 события третьей подвыборки 19 попадут в этот диапазон, а 2 окажутся в пределах окна покоя. Из основной закономерности выпадут следующие извержения: 14 июля 1973 г. вулкана Тятя на о-ве Кунашир (Южно-Курильский район) и 9 декабря 1965 г. вулкана Сарычева на о-ве Матуа (Средние Курильские острова).

Извержение вулкана Тятя произошло вскоре после возникновения в этом районе 17 июня 1973 г. сильнейшего землетрясения с моментной магнитудой

$M_w = 7.8$. По-видимому, данное сейсмическое событие и спровоцировало преждевременное мощное извержение вулкана Тятя [2]. Таково одно из возможных объяснений отскока точки, отображающей на кольце условную фазу события 14 июля 1973 г.

Следует отметить, что в районе Южных Курильских островов все извержения, кроме данного события, относятся к фреатическому и фреатомагматическому типам, исключенным нами из обработки. Следовательно, упомянутая выше закономерность получена фактически только по данным об извержениях с интенсивностью $I \geq 2$ на Северных и Средних Курильских островах. Было бы интересно попытаться выявить возможные особенности цикличности извержений каждого из этих районов, однако малый объем подвыборки сильных извержений не позволяет разделить ее на две части по географическому признаку.

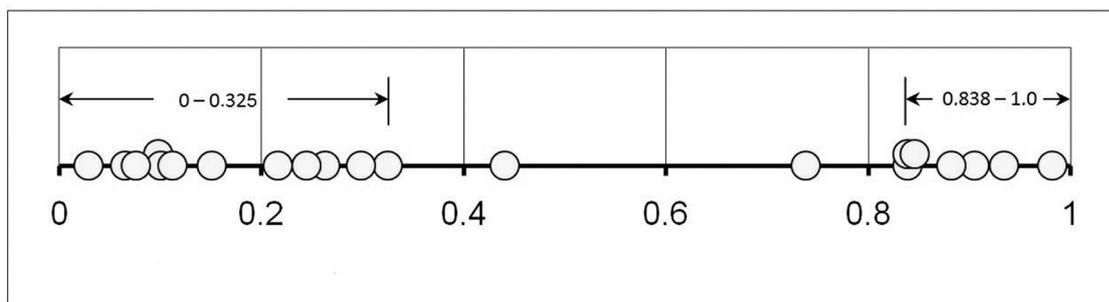


Рис. 3. Распределение начала сильных ($I \geq 2$) извержений вулканов Курильской гряды вдоль суммарной развертки кольца [0.1] для $T = 1739.4$ суток.

Стрелками отмечен диапазон фаз (0.838–1.0, 0–0.325), соответствующий окну тревоги шириной 0.487.

Используя данные о распределении точек (извержений) на кольце для $T = 1739$ суток (рис. 3), можно оценить вероятности возникновения сильных извержений в окнах тревоги и покоя. Рассмотрим первый случай – фазовое окно тревог (0.838–1.0, 0–0.32) шириной 0.487. Напомним, что начало первой развертки совпадает с моментом времени 01.01.1900 г. в 00 час. С учетом этого, от начала наблюдений 04.06.1914 г. (табл.) до окончания (начала извержения вулкана Сарычева 11.06.2009 г.) укладывается 20 полных окон тревоги и 249 суток из 21-ой развертки. Длительность окна тревоги составляет 847 суток. Таким образом, общая длительность окон тревоги составляет 17189 суток или 47.061 лет. В течение этого времени произошло 19 извержений с $I \geq 2$, а значит, **средняя частота появления событий** такой силы составляет $19/47.061 = 0.404$. Для Пуассоновского потока вероятность возникновения хотя бы одного события в год составит $P_1 = 1 - 1/\exp(1 \times 0.404) = 0.332$.

Аналогично рассчитывается вероятность возникновения хотя бы одного события в год в пределах окон покоя (P_2). Суммарная длительность менее опасных периодов составляет 49.046 лет. Средняя частота появления сильных извержений вне окон тревоги равна $2/49.046 = 0.041$. Тогда $P_2 = 1 - 1/\exp(1 \times 0.041) = 0.040$.

Следовательно, упомянутые вероятности отличаются более чем в 8 раз. С учетом этого, можно сделать предварительный долгосрочный прогноз наиболее вероятных периодов возникновения извержений вулканов, расположенных на Северных и Средних Курильских островах. При этом предполагается, что наблюдаемая закономерность в распределении событий на кольце сохранится в течение последующих нескольких лет. Интервалы времени, содержащие два ближайших опасных периода, следующие: 1) 05.10.2008 г. – 30.01.2011 г.; 2) 11.07.2013 г. – 04.11.2015 г.

Перейдем теперь к обсуждению вероятной причины возникновения полученной периодичности. Она может быть связана как с внутренними тектоническими процессами в недрах Земли, так и с гравитационным воздействием Луны, Солнца и других планет. Цикличности, которые могут порождаться астрономическими факторами, подробно рассмотрены в работе В.М. Федорова [35]. Им предложены 4 астрономических показателя, повторяемость которых далее указана в скобках: эклиптическая широта Луны (13.6 суток), расстояние Земля – Солнце (182.7 суток), разность геоцентрических долгот (угловых расстояний) Солнца и Венеры (292 суток) и аналогичный показатель для Солнца и Марса (780 суток).

Ни одна из этих периодичностей не согласуется с найденной нами ($T = 1739.4$ суток). Однако, она неплохо увязывается с 18.613-летним периодом прецессии лунной орбиты T_0 , составляя $\frac{1}{4} \cdot T_0$. Если

данное совпадение не случайно, то существует взаимосвязь извержений с определенным интервалом фаз лунного цикла. Подобная статистически значимая связь сильнейших мелкофокусных землетрясений северо-западной части Тихоокеанского пояса с лунным циклом и периодами, кратными и дробными этому циклу, получена, например, в работах [13, 41]. В отличие от авторов указанных работ, рассматривавших весьма ограниченный набор возможных периодов, нами осуществлен сплошной перебор периодов в широчайшем диапазоне от 100 до 10 тыс. суток с шагом 0.1 суток.

В принципе, используемая методика [30–32] позволяет производить расчеты, начиная с периодов в несколько суток и с любым шагом изменения периода. Интересно отметить, что для сильных извержений вулканов Курильской гряды в широчайшем диапазоне удалось найти только одну периодичность, вероятность реального существования которой достаточно велика. С другой стороны, учитывая скудость экспериментального материала об извержениях вулканов на Курильских островах, нельзя исключать возможность случайного характера выявленной периодичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдурахманов А.И., Злобин Т.К., Мархинин Е.К., Тараканов Р.З.* Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 г. // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 3–9.
2. *Абдурахманов А.И., Федорченко В.И.* О вулканической активности на Курильских островах в 1973 г. и о некоторых не зафиксированных ранее извержениях // Вулканизм Курило-Камчатского региона и острова Сахалин. Владивосток: Тр. СахКНИИ. Вып. 48. 1976. С. 114–118.
3. *Авдейко Г.П., Хренов А.П., Флеров Г.Б. и др.* Извержение вулкана Алаид в 1972 г. // Бюллетень вулканикологических станций. 1974. № 50. С. 64–80.
4. *Анореев В.Н., Шанцер А.Е., Хренов А.П. и др.* Извержение вулкана Пик Сарычева в 1976 г. // Бюллетень вулканикологических станций. 1978. № 355. С. 35–40.
5. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. 638 с.
6. *Гирина О.А., Малик Н.А., Котенко Л.В.* Действующие вулканы Северных Курил и их активность в 2004–2005 гг. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. 30 марта – 1 апреля 2005 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 79–87.
7. *Гирина О.А., Малик Н.А., Котенко Л.В.* Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2002–2007 гг. по данным KVERT // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 67–73.
8. *Главацкий С.Н., Ефремов Г.К.* Извержение вулкана Пик Сарычева в ноябре 1946 года // Бюллетень вулканикологических станций. 1948. № 15. С. 8–12.
9. *Гордеев Е.И.* Сейсмичность вулканов и контроль вулканической активности // Вестник ДВО РАН. 2007. № 2. С. 38–45.

10. Горшков Г.С. Каталог действующих вулканов Курильских островов // Бюллетень вулканологических станций. 1957. № 25. 178 с.
11. Горшков Г.С. Кальдера Заварицкого // Бюллетень вулканологических станций. 1960. № 30. С. 30–49.
12. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
13. Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64–79.
14. Гущенко И.И. Извержение вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
15. Жаринов Н.А. Состояние вулканов Шивелуч и Ключевской в 1999 г., долгосрочный прогноз их деятельности // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 30–38.
16. 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.
17. Кирсанов И.Т., Серафимова Е.К., Сидоров С.С. и др. Извержение вулкана Эбеко в марте–апреле 1963 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1964. № 36. С. 66–72.
18. Кирсанов И.Т., Хренов А.П., Вакин Е.А. Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1975. № 51. С. 3–18.
19. Коржинский М.А., Бочарников Р.Е., Ткаченко С.И. и др. Фумарольная активность вулкана Кудрявый в период 1990–1999 гг. Фреатическое извержение 1999 г. // Экспериментальная минералогия. Некоторые итоги на рубеже столетий. Т. 2. М.: Наука, 2004. С. 65–92.
20. Котенко Т.А., Котенко Л.В. Состояние вулкана Эбеко (о-в Парамушир) и влияние последней активизации на экологическую обстановку // Вулканизм и геодинамика: мат-лы IV Всерос. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 613–617.
21. Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигалева Н.Г. и др. Комплексная экспедиция “Вулкан Сарычева-2009” (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98–104.
22. Мардиа К. Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978. 177 с.
23. Мархинин Е.К. О состоянии вулканов острова Кунашир (март 1974–май 1982 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 43–47.
24. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Будников В.А. Активность вулкана Эбеко в 1987–1991 гг.; характер извержений, особенности их продуктов, опасность для г. Северо-Курильск // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 21–33.
25. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Храмова Г.Г. Газо-гидротермальное извержение вулкана Эбеко в 1967 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1969. № 45. С. 3–6.
26. Новейший и современный вулканизм на территории России / Н.П. Лаверов, Н.Л. Добрецов, О.А. Богатиков и др. М.: Наука, 2005. 604 с.
27. Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 3–20.
28. Сеньюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений // Комплексные сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке: мат-лы конф. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 279–291.
29. Тараканов Р.З. Возможно ли возникновение сильнейшего землетрясения в районе Средних Курильских островов? // Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС-2005): тез. докл. Междунар. науч. симпоз. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2005. С. 131.
30. Тихонов И.Н. Методика выявления периодичностей сильных землетрясений и прогноза интервалов времени с повышенной вероятностью их возникновения. Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2004. 33 с.
31. Тихонов И.Н. Методы анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий. Владивосток, Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 214 с.
32. Тихонов И.Н. Синодические периоды планет солнечной системы и синхронизация времен возникновения сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2009. № 5. С. 71–80.
33. Токарев П.И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77–91.
34. Фазлуллин С.М., Тимофеева И.Ф., Котенко Л.В., Шапарь В.Н. Опыт слежения за состоянием вулкана Эбеко (Курильские острова) // Минералогическое образование в вулcano-гидротермальных системах островных дуг: от модели к эксплуатации: мат-лы Российско-Японского полевого семинара. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 1998. С. 252–255.
35. Федоров В.М. Хронологическая структура и вероятность вулканической активности в связи с приливной деформацией литосферы // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 44–50.
36. Федорченко В.И., Шилов В.Н. Извержение вулкана Чикурачки (о. Парамушир) в 1961 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1963. № 34. С. 36–43.
37. Федотов С.А. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. М.: Наука, 2006. 456 с.
38. Федотов С.А., Иванов Б.В., Флеров Г.Б. и др. Изучение извержения вулкана Алаид (Курильские острова) в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 9–27.
39. Чибисова М.В. Вулканическая активность на Курильских островах за период 2000–2007 гг. // Проблемы и достижения в геологических и геофизических исследованиях в зоне Курильских островов и о. Хоккайдо: сильные землетрясения, цунами и извержения вулканов: мат-лы Междунар. науч. Российско-Японского симпоз. Южно-Курильск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 30–34.
40. Шилов В.Н. Извержение вулкана Пик Сарычева в 1960 году // Тр. Сахалинского комплексного научно-исследовательского института. 1962. Вып. 12. С. 143–149.
41. Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с силь-

- ными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 120–133.
42. *Kuiper N.H.* Tests concerning random points on a circle // *Ned. Akad. Wet. Proc. A63*, 1960. P. 38–47.
43. *Rybin A.V., Karagusov Y.V., Izbekov P. E. et al.* Monitoring of active volcanoes of the Kurile Islands: Present and future // The 2nd International Conference on Volcanic Ash and Aviation Safety., Washington, USA. 2004. P. 55–61.
44. *Simkin T.S., Siebert L.* Volcanoes of the world: a regional directory, gazetteer and chronology of volcanism during the last 10.000 years. 2 ed. Geoscience Press, Tucson, AZ, 1994. 349 p.
45. *Tanatadate H.* Volcanic Activity in Japan and vicinity during the Period between 1924 and 1931. Japanese Journal of Astronomy and Geophysic. Tokyo, 1931. V. IX, № 1.

Рецензент А.И. Малышев

Some regularity of the time of strong volcanoes eruptions beginning in the Kuril Island arc

I. N. Tikhonov, A. V. Rybin, M. V. Chibisova

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of RAS

On the base of the Tikhonov's method (2004) and data about the volcanoes eruptions of the Kuril Island arc for 1914–2009 the search of the possible periodicities of the eruptions (in the range 100–10000 days) influencing to the time of eruption beginning was realized. For the eruptions with the intensity $I \geq 2$ on the scale of Simkin, Siebert (1994) the statistically significant periodicity $T = 1739$ days (with probability $P = 99\%$) was revealed. Found periodicity is $\frac{1}{4}T_0$, where T_0 is 18.6 year period of the precession of moon orbit. If this agreement is not random, mutual link between the eruptions and definite interval of phases of moon cycle exists.

Key words: *Kurile Islands, volcanoes, eruptions, types of eruptions, distribution of the eruptions, periodicities.*