

О РЕЗОНАНСНОЙ ПРИРОДЕ НАИБОЛЕЕ СИЛЬНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ ЗЕМЛИ И ИХ ПРОГНОЗ НА БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ С 1700 г.

Широков В.А.

Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, shirokov@emsd.ru

Введение

Один из подходов при изучении природы и решения задачи долгосрочного прогноза (ДП) сильных сейсмических и вулканических событий связан с изучением их отклика на внешние космические воздействия на основе выявления значимых активных фаз астрономических ритмов по используемому способу наложения эпох [5, 6, 10-14, 19]. В 60-е годы XX века впервые на основе лунного ритма 18.613 г. сделан прогноз сильных землетрясений Байкала [10] и позднее вулканических извержений [19]. В [12, 13] показано, что связь лунного ритма и его долей с сильными землетрясениями и извержениями вулканов значимо проявляется для Камчатки и других регионов северо-западной части Тихоокеанского пояса, что стало основой ДП. Детальный анализ связи ритма 18.613 г., его долей и кратных с сильными землетрясениями многих регионов мира сделан в [6]. Разработан подход совместного использования ритмов 18.613 г. и 22-летнего солнечного для ДП землетрясений и извержений вулканов различных регионов мира [11, 17]. Но механизм этой связи до сих пор считается дискуссионной проблемой [6]. Нами впервые предложен резонансный механизм этой связи, основанный на целочисленных резонансах, т.к. этот механизм основан на долговременной неизменности полных циклов резонанса [2], их устойчивости, что дает возможность существенно повысить эффективность долгосрочных прогнозов и рассчитывать прогнозные интервалы с точностью до двух суток для сейсмических [15, 16], а в данной работе и вулканических событий. Отметим, что важно иметь надежные каталоги за длительный срок.

Поясним термин целочисленный резонанс, обычно использующийся в астрономии [2, 9]. Если в системе отношение двух частот колебаний кратно отношению целых чисел, то считается, что они находятся в целочисленном резонансе, который обеспечивает повторяемость процесса от цикла к циклу [2]. Резонансные явления становятся наиболее опасными, когда собственные колебания осциллятора с периодом T_x связаны с периодом колебаний вынуждающей силы T_y соотношением

$$nT_x \approx mT_y, \quad (1)$$

где m и n – целые числа, которые делятся без остатка только на себя и единицу.

Новизна данной работы состоит в использовании для прогноза только «точных целочисленных резонансов» (ТЦР), соответствующих частному случаю уравнения (1), когда

$$nT_x = mT_y = T_{\text{цикл}} \quad (2)$$

Интерес к изучению явлений резонанса связан не только с его полезными, но и разрушительными свойствами [3]. Это и привело нас к идее использования явлений резонанса для прогноза природных катастрофических процессов, в частности, тектонических землетрясений [15, 16] и вулканических извержений, что является целью данной работы. Термин *период ритма* часто заменяется нами термином ритм.

О методике расчета резонансных ритмов, связанных с лунным 18.613 г.

Рассчитаем комбинационный ритм, связанный с лунным ритмом 18.613 г. формулой $T_x = 18.613 \text{ г.} + 18.613 \text{ г.}/3 + 18.613 \text{ г.}/15 = 26.0582 \text{ г.}$ Важнейшее свойство этого ритма состоит в том, что он соответствует формуле ТЦР $5(26.0582 \text{ г.}) = 7(18.613 \text{ г.}) = T_{\text{цикл}} = 130.291 \text{ г.}$ Значение 130.291 г. является полным циклом ТЦР, т.к. через каждые 130.291 г. резонанс повторяется заново, что и определяет его устойчивость. Умножим левую и правую части формулы ТЦР $7(18.613 \text{ г.}) = 5(26.0582 \text{ г.})$ на 3. При этом получим равенства: $21(18.613 \text{ г.}) = 15(26.0582 \text{ г.}) = 390.873 \text{ г.} = 3(130.291 \text{ г.}) = 40(9.771825 \text{ г.}) = 80(4.8859125 \text{ г.})$ и т.п. При делении левой и правой частей равенства $15(26.0582 \text{ г.}) = 40(9.771825 \text{ г.})$ на 5, получим формулу ТЦР $3(26.0582 \text{ г.}) = 8(9.771825 \text{ г.})$. Поскольку ритмы **26.06 г.** и **9.77 г.** (округленные значения здесь и далее выделяются жирным шрифтом, но при расчетах всегда используются точные значения) связаны с лунным, следовательно, новые рассчитанные резонансные ритмы тоже связаны с ним и в любом варианте их использования вынуждающей силой является Луна. Важно найти значимый отклик событий на резонансные ритмы.

В работе оценивается *эффективность прогнозов* I по определению А.А. Гусева [4], согласно которому I может рассчитываться как отношение доли успешно «спрогнозированных» реально или по ретроспективным данным событий к доле времени тревоги за весь период наблюдений. При случайном прогнозировании в среднем $I = 1$. Отметим, что для любого резонансного ритма его доли и кратные тоже являются резонансными ритмами.

Методика долгосрочного прогноза вулканических извержений

Значимыми принято считать ритмы, для которых вероятность P случайного распределения событий по фазам ритмов должна быть не более 0.01, а для высокосignимых – не более 0.001. В данной работе оценки P сделаны по известной по справочникам формуле Бернулли. Для резонансных ритмов пишется уравнение **ТЦР** вида (2). Для любого устойчивого ритма T_1 фаза события $\Phi(T_1)$, произошедшего в момент времени t , рассчитывается по формуле

$$\Phi(t) = (t - t_{01})/T_1 - \text{Entier}((t - t_{01})/T_1) \quad (3)$$

Здесь Entier – целая часть, а t_{01} – условно выбранная начальная нулевая дата, для которой фазы резонансных ритмов равны 0 [6]. Здесь и везде далее для мировых извержений используется Гринвичское время, а начальные нулевые фазы используемых ритмов соответствуют эпохе 1700.0 г. Фазы ритмов Φ меняются от 0.0 до 1.0 по кольцу. Даты следующих друг за другом нулевых фаз ритмов рассчитываются по очевидной формуле

$$D(\Phi_{n0}) = t_{01} + n \cdot T_1, \quad (4)$$

где $n=1, 2, 3, \dots$ и т.д.

Анализируемые события по фазам двух совместно рассматриваемых резонансных ритмов Φ_x (ось x) и Φ_y приурочены к фазовым траекториям. Отображение событий в фазовом квадрате $[(\Phi(T_x), \Phi(T_y))]$ можно назвать их *фазовым портретом*. В данной работе для ДП извержений время тревоги рассчитывается на основе пересечения фазовых траекторий с «фазовыми кластерами», в которых события происходят значимо чаще, чем в среднем. Рассчитываются значения I и вероятность попадания событий в прогнозируемые интервалы.

Исходные данные о сильных извержениях вулканов Земли

В список включены извержения с начала 1700 г. с минимальным значением объема изверженных вулканических продуктов $V = 2.5 \text{ км}^3$ на годовых по длительности интервалах по данным [1, 7, 18, 20]. Исключены извержения Исландии, связанные с процессами в Атлантическом рифте. Список 12 извержений приводится в следующем виде: день/месяц/год с указанием в скобках названия вулкана, его местоположения и величины V в км^3 .

1/4/1815 (**Тамбора**, Индонезия, 150), 20/1/1835 (**Косигуина**, Никарагуа, 50), 20/5/1883 (**Кракатау**, Индонезия, 18), 24/10/1902 (**Санта-Мария**, Гватемала, 5.4), 28/3/1907 (**Ксудач**, Россия, 3), 6/6/1912 (**Катмай**, Аляска, 21), 10/4/1932 (**Сьерра-Ассуль**, Чили, 20), 30/3/1956 (**Безымянный**, Россия, 3.1), 12/8/1966 (**Аву**, Индонезия, 3), 6/7/1975 (**Плоский Толбачик**, Россия, 2.5), 15/6/1991 (**Пинатубо**, Филиппины, 8), 8/08/1991 (**Маунт-Хадсон**, Чили, 4).

Полученные результаты

Обнаружено, что наиболее значимыми для 12 событий оказались ритмы **9.77 г.** и **4.89 г.**, отвечающие формуле **ТЦР** $2(4.8859125 \text{ г.}) = 9.771825 \text{ г.}$. Последний ритм одновременно является полным циклом резонанса. Поэтому достаточно провести анализ распределения событий по фазе полного цикла резонанса **9.77 г.** Согласно расчетам и рис. 1, восемь наиболее сильных событий с $V \geq 4.0 \text{ км}^3$ оказались приурочены к кластеру К2 с продолжительностью 365 суток. 4 более слабых извержения образуют вторую группу извержений. Три события попали в кластер К1 с продолжительностью 102 суток, и все произошли на Камчатке. Т.к. диапазоны объемов V двух кластеров не пересекаются, прогнозы для каждого кластера даются отдельно. Выбранный 70-летний интервал вполне достаточен для сравнения эффективности I ДП извержений для К1 и К2 за последние 200 лет с расчетным значением I в ближайшие 70 лет.

Рассмотрим сначала прогноз для кластера К2, включающего 8 извержений с $V \geq 4.0 \text{ км}^3$. После эпохи 1700.0 до начала 2016 г. прошло 32 полных цикла ритма **9.77 г.** Т.к. $1700.0 + 32 \cdot 9.771825 \text{ г.} = 2012.6984 \text{ г.}$, эта дата соответствует началу нулевой фазы нового текущего цикла. Первое извержение кластера К2 произошло в 12-ом цикле ритма **9.77 г.** Зная начало

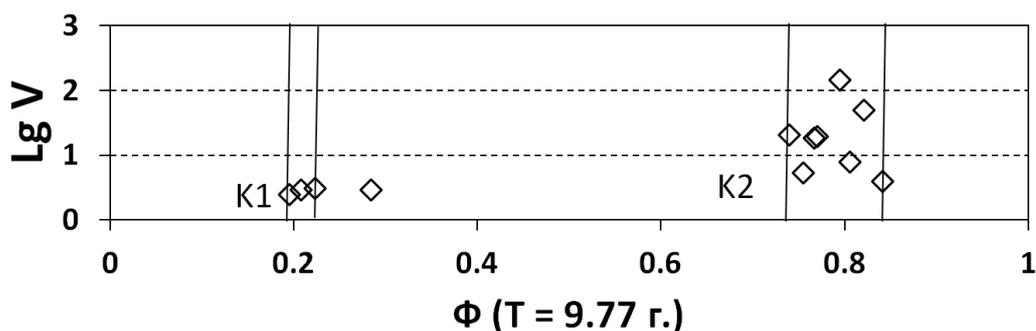


Рис. 1. Распределение по фазе Φ полного цикла резонанса с периодом $T = 9.771825$ г. мировых извержений с объемом $V \geq 2.5 \text{ км}^3$, обозначенных ромбами, с выделением двух кластеров K1 и K2.

и конец фаз кластера K2, приведем рекуррентные формулы для расчета начала и окончания следующих 7 циклов ритма **9.77 г.** при n от 0 до 6 (табл.). С 1815 г. до 2016 г. полных циклов было 21. В семи из них произошло 8 извержений. Поэтому средняя вероятность попадания извержений в каждый цикл равна $7/21 = 0.33(3)$. Длительность кластера K2 составляет 1.0 г., поэтому доля активной фазы в пределах ритма **9.77 г.** составляет $1.0/9.77 \text{ г.} = 0.1023$ или 10.23% (табл.). При попадании всех 8 извержений с $V \geq 4 \text{ км}^3$ в кластер K2 эффективность $I(1)$ по ретроспективным данным составит $100\% / 10.23\% = 9.8$. В работе все оценки I являются *ретроспективными*, поэтому далее этот термин везде опускается. На рис. 2 видно, что для 12 извержений характерен значимый отклик на ритм 4.0 г., причем активная фаза составляет 45.5% от длительности ритма (табл. 1). Пауза начинается 7 июня високосного года и заканчивается 11 августа четного не високосного года. Значение $I(1)$ для *ритма 4.0 г.* равно $100\% / 45.5\% = 2.2$ (табл.). Совместный прогноз по двум ритмам требует одновременного попадания событий в активные фазы двух ритмов, что увеличивает эффективность прогнозов в 2.2 раза, поэтому значение $I(2) = 9.8 \cdot 2.2 = 21.6$ (табл.). Согласно расчетам при учете ритма 4.0 г. до 2086 г. в двух циклах из 7 извержения не ожидаются. Суммарное время тревоги по двум ритмам составляет 1247 суток (см. далее). 70 лет составляют 25568 суток. Поэтому доля опасного времени составит $1247 \text{ суток} / 25568 \text{ суток} = 0.0488$. Значение $I(2) = 100\% / 4.88\% = 20.5$. Эта оценка по двум ритмам $I(2)$ близка к 21.6, полученной другим способом (табл.). Приведем прогнозные интервалы в 70-летнем интервале: 1.12.2019 – 6.06.2020 гг. (157 суток); 12.08.2030 – 9.09.2030 гг. (29 суток); 19.06.2039 – 6.06.2040 гг. (354 суток); 3.01.2059 гг. – 2.01.2060 гг. (365 суток); 12.08.2078 – 20.07.2079 гг. (342 суток). Для интервалов длительностью более 340 суток вероятность возникновения событий в интервале составляет около 0.3. В более коротких интервалах она пропорционально меньше.

Таблица. Рекуррентные формулы для расчета активных фаз α_+ и их доли от ритма T в % для извержений с $V = 2.5-3.5 \text{ км}^3$ и $V \geq 4 \text{ км}^3$ с использованием полного цикла резонанса $T=9.771825$ г. и ритма $T=4.0$ г. в 70-летнем интервале с 01.01.2016 г. N1 и N2 – соответственно число событий в активных фазах ритмов T и вне их. $I(1)$ и $I(2)$ – эффективность прогнозов по одному и двум ритмам.

T, годы	α_+ , (%)	начало α_+ , годы	окончание α_+ , годы	n	Объем V, км ³	N1	N2	I(1)	I(2)
9.77	K1 (2.86)	2024.369+n·T	2024.647+ n·T	0 - 6	2.5-3.5	3	1	9.8	22
9.77	K2 (10.23)	2019.92+ n·T	2020.917+ n·T	0 - 6	≥ 4	8	0	26	58
4.0	0.65-0.11 (45.5)	2018.653+ n·T	2020.43+ n·T	0 - 16	≥ 2.5	12	0	2.2	

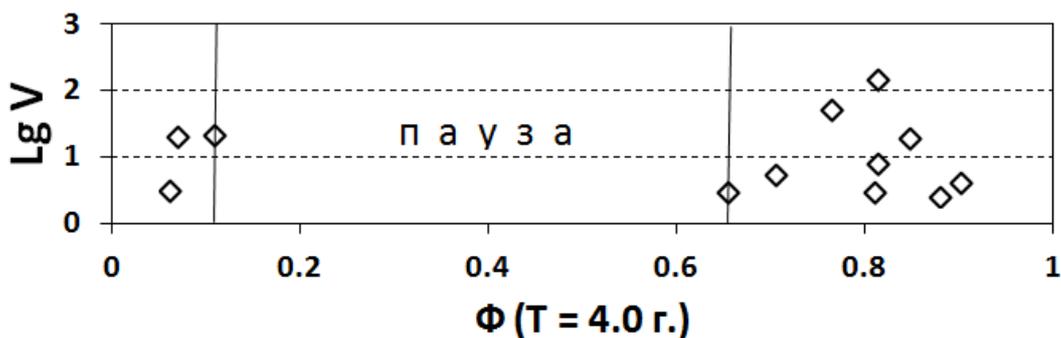


Рис. 2. Распределение по фазе Φ полного цикла резонанса с периодом $T = 4.0$ г. 12 извержений с объемом $V \geq 2.5 \text{ км}^3$. Выделена пауза, составляющая 54.5 % от длительности ритма 4.0 г.

Аналогичные расчеты проведены для кластера К1. Значение $I(1)$ для ритма **9.77** г. равно 26.2, а с учетом ритма 4.0 г. $I(2)$ равно $26.2 \cdot 2.2 = 57.6$ (табл.). Три извержения кластера К1 с 1907 г. до 2015 г. приурочены к трем циклам **9.77** г. из 11. Вероятность их возникновения в одном цикле составляет 0.27. Приведем теперь прогнозируемые по двум ритмам интервалы. До 2086 г. их оказалось 4: I – 15.05.2024 – 6.06.2024 гг. (23 суток); II – 30.11.2043 – 11.03.2044 гг. (102 суток); III – 16.06.2063 – 26.09.2063 гг. (102 суток); IV – 1.01.2083 – 12.04.2083 гг. (102 суток). Суммарное время тревоги равно 329 суток. Тогда доля времени тревоги за 70 лет составит 329 суток / 25568 суток = 0.0129. Одно событие находится вне кластера К1, поэтому доля «спрогнозированных» событий составляет 0.75. Значение $I(2)$ равно $0.75/0.0129 = 58.1$, что близко к оценке 57.6 (округленно 58), полученной выше другим способом (табл.).

Выводы и краткое обсуждение полученных результатов

Для долгосрочного прогноза вулканических извержений впервые используется формула точного целочисленного резонанса (**ТЦР**) в виде равенства $mT_1 = nT_2 = T_{\text{ЦИКЛ}}$, где m и n – целые числа, T_1 и T_2 – статистически значимые резонансные ритмы, рассчитанные по специальной методике и зависящие от лунного ритма 18.613 г., $T_{\text{ЦИКЛ}}$ – полный цикл **ТЦР**. Главное свойство полного цикла **ТЦР** заключается в долговременной неизменности его значения, повторяемости от цикла к циклу, что является основой прогнозов, сделанных на ближайшие 70 лет.

Вопросы о причинах возникновения тектонических землетрясений и вулканических извержений, их природе, возможности прогноза масштаба событий, относятся к числу наиболее важных в науках о Земле. Связь событий с лунным ритмом 18.613 г. выявлена во многих работах еще в прошлом веке, но ее механизм считается до сих пор дискуссионным [6]. В работах [15, 16] впервые предложен резонансный механизм связи сильных мировых и региональных землетрясений с ритмом 18.613 г. на основе использования целочисленных резонансов по данным землетрясений с 1600 г. Улучшенный вариант этого подхода, когда используются только **ТЦР**, реализован для вулканических извержений на примере 12 извержений вулканов Земли. Описана методика расчета новых резонансных ритмов. Прогнозные интервалы рассчитаны с точностью до двух суток. Эффективность прогнозов I извержений в ретроспективном варианте примерно в 22 и 58 раз больше по сравнению со случайным прогнозом, для которого $I = 1$. Ранее сделанные нами оценки I по другим методам ДП были значительно меньше. Можно сделать вывод, что возникновение сильных вулканических извержений Земли связано с явлением **ТЦР**, причем вынуждающей силой изучаемого процесса является движение Луны с ритмом 18.613 г., а также годовое движение центра масс Земли и Луны по эклиптике вокруг Солнца.

Из формулы **ТЦР** $7(18.613 \text{ г.}) = 7(26.0582 \text{ г.}) = 130.291 \text{ г.}$ следует, что полным циклом резонанса является значение 130.291 г. В [21] впервые указано на более быстрое вращение внутреннего ядра Земли относительно мантии при полном цикле его обращения около 180-900 лет. В [8] двумя независимыми способами рассчитана оценка 130 лет, которая практически совпадает со значением 130.291 г. Вероятно, это указывает на важную роль движений внутреннего ядра относительно мантии в геодинамических процессах и явлениях резонанса.

В заключение автор выражает благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН и КФ ГС РАН В.Н. Волошину, В.Н. Дубровскому, к.ф.-м.н. В.В. Иванову, д.г.-м.н. И.В. Мелекесцеву, Ю.К. Серафимовой, д.ф.-м.н. П.П. Фирстову за содействие при выполнении исследований. Особую признательность автор выражает д.ф.-м.н. А.А. Гусеву за конструктивные предложения, замечания и

полезные дискуссии по теме работы и Н.В. Широковой за многолетнюю помощь при выполнении исследований.

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975-1976 гг., Камчатка) // Отв. ред. член -корр. С.А. Федотов и д. г.-м. н. Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1984. 638 с.
2. Бялко А.В. Наша планета – Земля. Библиотечка Квант. Вып. 29. М.: Наука, 1989. 240 с.
3. Вайнберг Д.В., Писаренко Г.С. Механические колебания и их роль в технике. М.: Наука, 1965. 276 с.
4. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность, сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.
5. Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008-2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. 2008. № 5. С. 55-65.
6. 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.
7. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 475 с.
8. Денисов Г.Г., Новиков В.В., Федоров А.Е. Как твердое ядро Земли сутки изменяет // Природа. 2013. № 5. С. 3-10.
9. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: ФИЗМАТГИЗ, 1961. 494 с.
10. Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 130. № 2. С. 210-213.
11. Серафимова Ю.К., Широков В.А. Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами для различных регионов Земли на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке (*К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений*). Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга», 2012. С. 305-328.
12. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западной части Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
13. Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 164-170.
14. Широков В.А. Влияние общепланетарных космических факторов на возникновение сильных вулканических извержений Земли и проблема их долгосрочного прогноза // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27-29 марта, 2008. г. ИВиС ДВО РАН: Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 305-314.
15. Широков В.А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения 11- и 22-летних циклов солнечной активности и сильных мировых землетрясений // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России», 29.09 – 5.10.2013 г., Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 210-214.
16. Широков В.А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения сильных мировых и региональных (Камчатка, Курильские о-ва) землетрясений и оценка сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского на ближайшие 40 лет // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29.09 – 5.10.2013 г., Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 419-424.
17. Широков В.А., Серафимова Ю.К. Прогноз сильных извержений вулканов Тихоокеанского тектонического пояса на ближайшие 20 лет на основе применения метода фазовых траекторий // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Выпуск № 12. С. 154-163.
18. Fire and Mud: Eruptions and Lahards of Mount Pinatubo, Philippines. Ed. by C.G. Newhall and R.S. Punogbayan. University of Washington Press. 1997. 1126 p.
19. Hamilton W.L. Tidal Cycles of Volcanic Eruptions : Fortnightly to 19 Yearly Periods // JGR. 1973. V.78. p. 3356-3362.
20. Simkin T., Siebert L. Volcanoes of the World. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program. Geoscience Press. Tucson. Arizona, 1994. 349 p.
21. Song X., Richards R.S. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core // Nature. 1996. V /382. N 6588. P. 221.