

Методика научных исследований

УДК 551.4.013.550.348.436

© 2007 г. В.М. ФЕДОРОВ

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОСТИ ЭНДОГЕННЫХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ¹

Рельеф является важнейшим компонентом природной среды, на фоне и при непосредственном взаимодействии с которой происходит развитие человека и общества. Земная поверхность находится в постоянном развитии и представляет собой динамически активную поверхность, обобщенно отражающую результат космо-земного взаимодействия и сочетания эндогенных и экзогенных рельефообразующих процессов. Исследование эндогенных рельефообразующих процессов с целью разработки методов географического прогнозирования [1] определяемых этими процессами природных явлений является одной из важнейших задач геоморфологии.

Эндогенные процессы обуславливают различные типы движений и связанные с ними деформации земной коры. Они являются причиной землетрясений, эффузивного и интрузивного магматизма. В совокупности эндогенные процессы способствуют возникновению разнообразных по морфологии и размерам форм рельефа, часто определяют как характеристики, так и интенсивность деятельности экзогенных процессов [2–4].

Вулканические и сейсмические процессы являются процессами космическими, элементами эволюции небесных тел, проявляющимися в активной форме на планетах земной группы и на многих спутниках планет [5–8]. В связи с космической природой и распространением вулканических и сейсмических процессов представляется естественным исследование хронологической структуры этих процессов в астрономической системе отсчета времени или в параметрах орбитального движения Земли [9]. Определение корреляционных связей показателей динамики вулканических и сейсмических процессов на Земле с показателями орбитального движения Земли представляется перспективным в отношении прогностических решений. Это определяется тем, что расчет астрономических показателей (эфмерид), являющийся одним из основных направлений теоретической астрономии, выполняется на многие годы как в прошлое, так и в будущее [10].

Методика исследований

Исследовалось хронологическое распределение вулканических извержений, имеющих точные датировки в каталоге “Извержения вулканов мира” за период 1900–1977 гг. [11]. Всего было проанализировано 1030 вулканических извержений (выборка, составляющая около 2/3 от всех зафиксированных в прошлом столетии извержений) по 272 вулканам. Для анализа хронологического распределения землетрясений в полях

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-05-64583).

Суточная вероятность геособытий в зависимости от расстояния Земля–Солнце

Расстояние Земля–Солнце, а.е.	Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
0.983–0.985	26.22	4980	259	5.2008	4093	140	3.4205
0.985–0.987	12.75	2422	136	5.6152	1987	87	4.3785
0.987–0.989	9.89	1878	92	4.8988	1542	57	3.6965
0.989–0.991	8.59	1632	77	4.7181	1338	62	4.6338
0.991–0.993	7.92	1504	91	6.0505	1235	43	3.4818
0.993–0.995	7.41	1407	67	4.7619	1155	46	3.9827
0.995–0.997	7.11	1351	71	5.2554	1111	40	3.6004
0.997–0.999	7.02	1333	71	5.3263	1094	37	3.3821
0.999–1.001	6.94	1317	71	5.3910	1080	43	3.9815
1.001–1.003	7.04	1337	54	4.0389	1097	41	3.7375
1.003–1.005	7.17	1362	79	5.8003	1118	35	3.1306
1.005–1.007	7.47	1418	84	5.9238	1163	34	2.9235
1.007–1.009	8.04	1527	81	5.3045	1254	52	4.1467
1.009–1.011	8.75	1662	89	5.3550	1364	44	3.2258
1.011–1.013	10.15	1928	110	5.7054	1580	53	3.3544
1.013–1.015	13.11	2490	133	5.3414	2045	88	4.3032
1.015–1.017	27.12	5150	273	5.3010	4233	128	3.0239
	182.7	34698	1838		28489	1030	

Таблица 2

Суточная вероятность геособытий в зависимости от расстояния Земля–Луна

Расстояние Земля–Луна, а.е.	Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
0.00238–0.00240	0.38	957	50	5.2247	786	27	3.4351
0.00240–0.00242	0.57	1426	86	6.0309	1169	44	3.7639
0.00242–0.00244	0.65	1622	80	4.9322	1335	57	4.2697
0.00244–0.00246	0.76	1911	109	5.7038	1569	55	3.5054
0.00246–0.00248	1.08	2715	130	4.7882	2228	70	3.1418
0.00248–0.00250	0.85	2138	112	5.2385	1753	51	2.9093
0.00250–0.00252	0.72	1801	82	4.5530	1479	48	3.2454
0.00252–0.00254	0.66	1650	82	4.9697	1356	63	4.6460
0.00254–0.00256	0.64	1619	80	4.9413	1324	49	3.7009
0.00256–0.00258	0.63	1595	89	5.5799	1307	44	3.3665
0.00258–0.00260	0.65	1622	91	5.6104	1340	46	3.4328
0.00260–0.00262	0.67	1687	87	5.1571	1381	60	4.3447
0.00262–0.00264	0.71	1794	90	5.0167	1472	51	3.4647
0.00264–0.00266	0.79	1990	130	6.5327	1641	57	3.4735
0.00266–0.00268	0.94	2360	126	5.3390	1940	84	4.3299
0.00268–0.00270	1.36	3417	191	5.5897	2800	101	3.6071
0.00270–0.00272	1.75	4394	223	5.0751	3609	123	3.4081
	13.81	34698	1838		28489	1030	

астрономических показателей использовалась выборка из сейсмологической базы данных USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes [12]. Анализировались датировки по 1838 землетрясениям с магнитудой ≥ 5 . В результате исследований были получены спектры распределения геодинамических событий в полях астрономических показателей. На основе спектров распределения была построена аксиоматическая модель активности вулканических и сейсмических процессов. В модели постулировалось положение о равномерном движении небесных тел, с показателями которых сопоставлялись геодинамические события [13–15]. В настоящей статье приводятся результаты

Суточная вероятность геособытий в зависимости от эклиптической широты Луны

Эклиптическая широта Луны, град.		Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
от	до		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
-5.5	-5.0	0.93	2376	134	5.6397	1954	75	3.8383
-5.0	-4.5	1.25	3188	179	5.6148	2620	102	3.8931
-4.5	-4.0	0.76	1935	109	5.6331	1588	56	3.5264
-4.0	-3.5	0.61	1563	63	4.0307	1281	39	3.0445
-3.5	-3.0	0.55	1399	85	6.0758	1157	43	3.7165
-3.0	-2.5	0.49	1258	65	5.1669	1029	42	4.0816
-2.5	-2.0	0.47	1207	75	6.2138	989	34	3.4378
-2.0	-1.5	0.45	1149	72	6.2663	948	34	3.5865
-1.5	-1.0	0.43	1102	66	5.9891	908	36	3.9648
-1.0	-0.5	0.43	1095	52	4.7489	897	28	3.1215
-0.5	0.0	0.42	1068	61	5.7116	874	40	4.5767
0.0	0.5	0.42	1073	49	4.5666	883	43	4.8698
0.5	1.0	0.43	1093	58	5.3065	896	31	3.4598
1.0	1.5	0.44	1109	54	4.8693	908	30	3.3040
1.5	2.0	0.45	1134	60	5.2910	929	38	4.0904
2.0	2.5	0.47	1204	76	6.3123	994	40	4.0241
2.5	3.0	0.5	1268	69	5.4416	1034	39	3.7718
3.0	3.5	0.55	1405	67	4.7687	1155	40	3.4632
3.5	4.0	0.61	1562	79	5.0576	1283	39	3.0398
4.0	4.5	0.76	1940	106	5.4639	1592	53	3.3291
4.5	5.0	1.25	3197	165	5.1611	2622	83	3.1655
5.0	5.5	0.93	2373	94	3.9612	1948	65	3.3368
		13.6	34698	1838		28489	1030	

Таблица 4

Суточная вероятность геособытий в зависимости от разности геоцентрических долгот Луна-Солнце

Разность долгот, град.	Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
0-15	1.2	1410	83	5.8865	1161	45	3.8760
15-30	1.24	1453	67	4.6111	1199	42	3.5029
30-45	1.22	1437	78	5.4280	1175	35	2.9787
45-60	1.24	1458	76	5.2126	1195	41	3.4310
60-75	1.25	1465	82	5.5973	1212	53	4.3729
75-90	1.25	1468	83	5.6540	1196	61	5.1003
90-105	1.27	1493	74	4.9565	1230	59	4.7967
105-120	1.23	1445	80	5.5363	1185	50	4.2194
120-135	1.24	1453	82	5.6435	1189	37	3.1119
135-150	1.23	1447	77	5.3214	1194	40	3.3501
150-165	1.23	1442	66	4.5770	1184	50	4.2230
165-180	1.2	1407	80	5.6859	1154	38	3.2929
180-195	1.18	1391	75	5.3918	1143	41	3.5871
195-210	1.25	1475	72	4.8814	1213	47	3.8747
210-225	1.2	1416	66	4.6610	1157	48	4.1487
225-240	1.24	1463	72	4.9214	1204	37	3.0731
240-255	1.26	1477	88	5.9580	1214	38	3.1301
255-270	1.21	1422	64	4.5007	1165	28	2.4034
270-285	1.27	1491	72	4.8290	1230	36	2.9268
285-300	1.23	1442	65	4.5076	1175	44	3.7447
300-315	1.23	1452	81	5.5785	1198	32	2.6711
315-330	1.24	1457	91	6.2457	1190	40	3.3613
330-345	1.22	1435	81	5.6446	1175	42	3.5745
345-360	1.19	1399	83	5.9328	1151	46	3.9965
	29.52	34698	1838		28489	1030	

Суточная вероятность геособытий в зависимости от разности геоцентрических долгот Венеры и Солнца

Разность долгот, град.		Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
от	до		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
-48	-44	26.02	3092	158	5.1100	2557	110	4.3019
-44	-40	18.14	2156	98	4.5455	1781	71	3.9865
-40	-36	13.46	1600	83	5.1875	1324	42	3.1722
-36	-32	11.8	1402	75	5.3495	1161	36	3.1008
-32	-28	10.75	1278	70	5.4773	1056	32	3.0303
-28	-24	10.08	1198	54	4.5075	992	40	4.0323
-24	-20	9.69	1152	63	5.4688	957	43	4.4932
-20	-16	9.39	1116	43	3.8530	924	41	4.4372
-16	-12	9.23	1097	57	5.1960	910	24	2.6374
-12	-8	9.07	1078	70	6.4935	891	35	3.9282
-8	-4	8.98	1067	54	5.0609	880	32	3.6364
-4	0	8.99	1068	54	5.0562	867	35	4.0369
0	4	8.94	1062	65	6.1205	864	33	3.8194
4	8	9.05	1076	54	5.0186	874	28	3.2037
8	12	9.06	1077	77	7.1495	874	29	3.3181
12	16	9.15	1087	61	5.6118	887	36	4.0586
16	20	9.43	1120	67	5.9821	910	35	3.8462
20	24	9.75	1159	61	5.2632	949	28	2.9505
24	28	10.23	1216	73	6.0033	988	44	4.4534
28	32	10.81	1285	51	3.9689	1046	23	2.1989
32	36	12.02	1428	104	7.2829	1171	38	3.2451
36	40	14.05	1669	88	5.2726	1366	55	4.0264
40	44	18.64	2215	109	4.9210	1800	50	2.7778
44	48	25.25	3000	149	4.9667	2460	90	3.6585
		291.98	34698	1838		28489	1030	

исследований, которые позволяют создать более приближенную к реальности модель в связи с учетом неравномерности движения небесных тел и смоделировать вероятностный сценарий изменения активности вулканических и сейсмических процессов на перспективный период 2005–2007 гг.

Анализировались 6 спектров распределения землетрясений и вулканических извержений в полях, отражающих основные приливные неравенства астрономических показателей [16]: расстояние Земля – Солнце (параллактическое неравенство солнечного прилива с периодом 187.2 суток); расстояние Земля – Луна (параллактическое неравенство лунного прилива с периодом 13.81 суток); эклиптическая широта Луны (тропическое неравенство лунного прилива, с периодом 13.6 суток); разность геоцентрических долгот Луны и Солнца (фазовое неравенство лунно-солнечного прилива, с периодом 29.52 суток) и дополнительно – разность геоцентрических долгот Солнца и Венеры (с периодом 291.98 суток) и Солнца и Марса (с периодом 780.02 суток).

Для каждого спектра распределения геособытий были рассчитаны продолжительности интервалов (в сутках) значений астрономических показателей, как за период этого показателя, так и за весь исследуемый отрезок времени (с 1900 по 1994 гг. для землетрясений и с 1900 по 1977 гг. для вулканических извержений). Делением числа геособытий, приходящихся на определенный интервал значений астрономического показателя, на общую за исследуемый период продолжительность этого интервала (в сутках) рассчитывалась суточная вероятность геособытий (вулканических извержений и землетрясений). Результаты расчетов приведены в таблицах 1–6.

Суточная вероятность геособытий в зависимости от разности геоцентрических долгот Марс–Солнце

Разность долгот, град.	Продолжительность интервала за период, сут	Землетрясения			Вулканические извержения		
		общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %	общая продолжительность, сут	число геособытий	суточная вероятность, %
0–15	53.64	2386	108	4.5264	1952	68	3.4836
15–30	52.27	2325	113	4.8602	1902	63	3.3123
30–45	50.71	2256	135	5.9840	1849	68	3.6777
45–60	47.28	2103	125	5.9439	1724	67	3.8863
60–75	42.58	1894	91	4.8046	1555	45	2.8939
75–90	35.88	1596	78	4.8872	1309	65	4.9656
90–105	28.59	1272	60	4.7170	1045	41	3.9234
105–120	21.9	974	57	5.8522	797	30	3.7641
120–135	17.13	762	40	5.2493	626	18	2.8754
135–150	13.87	617	31	5.0243	505	11	2.1782
150–165	11.87	528	24	4.5455	432	21	4.8611
165–180	11.24	500	26	5.2000	410	16	3.9024
180–195	11.22	499	33	6.6132	407	17	4.1769
195–210	11.89	529	22	4.1588	436	17	3.8991
210–225	14.05	625	32	5.1200	525	15	2.8571
225–240	17.4	774	43	5.5556	643	21	3.2659
240–255	22.5	1001	56	5.5944	825	28	3.3939
255–270	28.28	1258	60	4.7695	1036	43	4.1506
270–285	36.51	1624	81	4.9877	1341	42	3.1320
285–300	43.07	1916	106	5.5324	1578	55	3.4854
300–315	48.22	2145	136	6.3403	1763	60	3.4033
315–330	51.61	2296	129	5.6185	1883	55	2.9209
330–345	53.84	2395	140	5.8455	1959	68	3.4712
345–360	54.47	2423	112	4.6224	1987	96	4.8314
	780.02	34698	1838		28489	1030	

В каждом из полученных спектров календарной дате соответствует определенная суточная вероятность геособытия (вулканического извержения, землетрясения). Понятно, что эти события являются совместными, то есть одно геособытие отражается (по соответствию календарной дате) в координатах всех шести показателей. Пусть P_n – вероятность события в спектре n -го астрономического показателя, $n = 1, \dots, N$. Заметим, что $(1 - P_n)$ – вероятность того, что событие не происходит. Предположим, что факторы независимы. Тогда общая (или многомерная) вероятность события вычисляется по формуле $P = 1 - (1 - P_1) \dots (1 - P_N)$. Здесь $(1 - P_1) \dots (1 - P_N)$ – вероятность того, что событие не происходит [17]. Получаемая величина есть многомерная суточная вероятность (МСВ) геособытия для календарной даты. В строгом понимании эта вероятность считается условной. То есть, это вероятность, при условии попадания значения n -го астрономического показателя, соответствующего дате землетрясения или вулканического извержения, в определенный интервал значений этого показателя.

Результаты и их обсуждение

Значения многомерных суточных вероятностей были рассчитаны на весь исследуемый период (1900–1977 гг. – для вулканических извержений и 1900–1994 гг. – для землетрясений). Были так же рассчитаны распределения геособытий по интервалам значений многомерных суточных вероятностей и отдельно, распределение продолжительности (в сутках) этих интервалов многомерных суточных вероятностей. Для

Распределение вероятностей землетрясений

Многофакторная суточная вероятность	Число геособытий	Частота геособытий	Число суток	Частота МСВ	Отношение частот	Суточная вероятность геособытий
0.195–0.200			5	0.0001441	0.000000	0
0.200–0.205			17	0.0004899	0.000000	0
0.205–0.210	3	0.0016322	114	0.0032855	0.496793	0.0263157
0.210–0.215	9	0.0048966	413	0.0119027	0.411388	0.0217917
0.215–0.220	31	0.0168662	1028	0.0296271	0.569282	0.0301556
0.220–0.225	92	0.0500544	2218	0.0639230	0.783042	0.0414788
0.225–0.230	142	0.0772579	3879	0.1117932	0.691079	0.0366073
0.230–0.235	238	0.1294886	5439	0.1567526	0.826070	0.043758
0.235–0.240	337	0.1833515	6463	0.1862643	0.984362	0.0521429
0.240–0.245	329	0.1789989	6044	0.1741887	1.027615	0.0544341
0.245–0.250	308	0.1675734	4460	0.1285377	1.303691	0.0690582
0.250–0.255	194	0.1055495	2615	0.0753646	1.400519	0.0741873
0.255–0.260	93	0.0505985	1203	0.0346706	1.459406	0.0773067
0.260–0.265	32	0.0174102	533	0.0153611	1.133396	0.0600375
0.265–0.270	24	0.0130577	206	0.0059369	2.199394	0.1165048
0.270–0.275	6	0.0032644	52	0.0014986	2.178246	0.1153846
0.275–0.280			8	0.0002306	0.000000	0
0.280–0.285			1	0.0000288	0.000000	0
	1838	1.0000000	34698	1.0000000		

Таблица 8

Распределение вероятностей вулканических извержений

Многофакторная суточная вероятность	Число геособытий	Частота геособытий	Число суток	Частота МСВ	Отношение частот	Суточная вероятность геособытий
0.125–0.130			2	0.0000702	0.000000	0
0.130–0.135			13	0.0004563	0.000000	0
0.135–0.140			74	0.0025975	0.000000	0
0.140–0.145	5	0.0048544	287	0.0100741	0.481868	0.0174216
0.145–0.150	10	0.0097087	894	0.0313805	0.309387	0.0111856
0.150–0.155	45	0.0436893	1906	0.0669030	0.653025	0.0236096
0.155–0.160	77	0.0747573	3381	0.1186774	0.629920	0.0227743
0.160–0.165	137	0.1330097	4639	0.1628348	0.816838	0.0295322
0.165–0.170	184	0.1786408	5204	0.1826670	0.977959	0.0353574
0.170–0.175	174	0.1689320	4633	0.1626242	1.038788	0.0375566
0.175–0.180	168	0.1631068	3540	0.1242585	1.312641	0.0474576
0.180–0.185	103	0.1000000	2031	0.0712907	1.402708	0.0507139
0.185–0.190	67	0.0650485	1139	0.0399803	1.627013	0.0588235
0.190–0.195	39	0.0378641	486	0.0170592	2.219567	0.0802469
0.195–0.200	17	0.0165049	180	0.0063182	2.612260	0.0944444
0.200–0.205	4	0.0038835	63	0.0022114	1.756141	0.063492
0.205–0.210			14	0.0004914	0.000000	0
0.210–0.215			2	0.0000702	0.000000	0
0.215–0.220			1	0.0000351	0.000000	0
	1030	1.0000000	28489	1.0000000		

обоих распределений рассчитывались частоты распределения для каждого интервала многомерной суточной вероятности (сумма событий при этом принималась равной 1) и затем, отношение этих частот. Также для каждого интервала многомерной суточной вероятности рассчитывалось значение суточной вероятности геособытий делением числа геособытий в интервале на продолжительность этого интервала (в сутках). Ре-

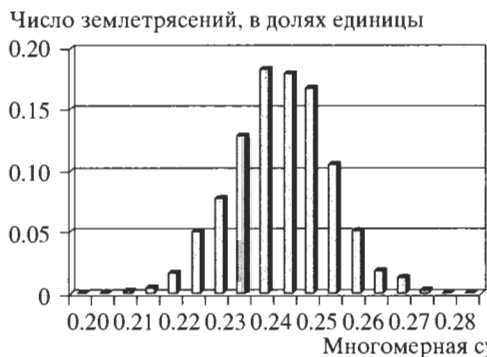


Рис. 1. Гистограммы распределения землетрясений и продолжительности многомерной суточной вероятности (в долях единицы) по интервалам многомерной суточной вероятности

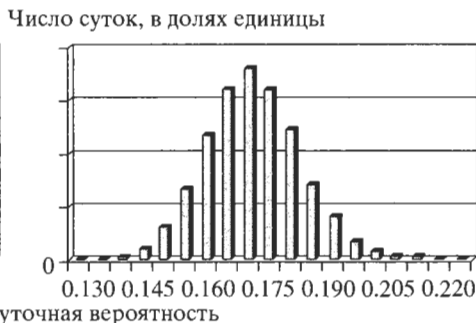
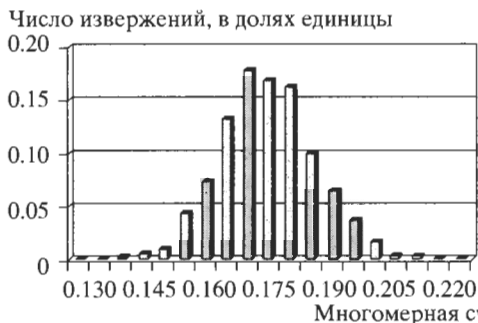


Рис. 2. Гистограммы распределения вулканических извержений и продолжительности многомерной суточной вероятности (в долях единицы) по интервалам многомерной суточной вероятности

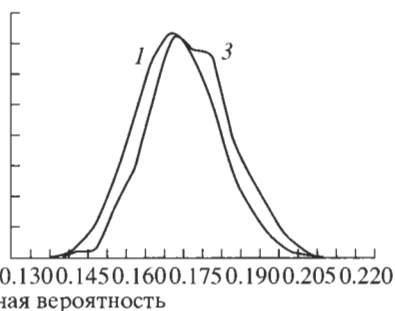
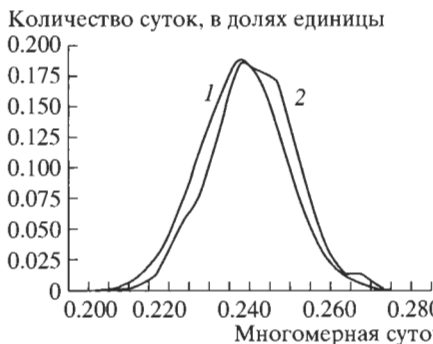


Рис. 3. Графики распределения продолжительности многомерной суточной вероятности (1), землетрясений (2) и вулканических извержений (3) по интервалам многомерной суточной вероятности (в долях единицы)

зультаты расчетов приведены в таблицах 7–8 и графически представлены на рисунках 1–3.

Распределение частот землетрясений аппроксимируется функцией нормального распределения с математическим ожиданием 0.238233, средним квадратическим отклонением 0.010829. Доверительный интервал для математического ожидания при доверительной вероятности 0.99 равен ± 0.00015 . Значения математического ожидания в доверительном интервале изменяются от 0.238083 до 0.238383.

Распределение частот МСВ аппроксимируется функцией нормального распределения с математическим ожиданием 0.240928, средним квадратическим отклонением 0.010661. Доверительный интервал для математического ожидания при доверительной вероятности 0.99 равен ± 0.000641 . Значения математического ожидания в доверительном интервале изменяются от 0.240287 до 0.241569.

В распределении частот (рис. 3) отмечается смещение графика частот геособытий в область больших значений многомерной суточной вероятности по отношению к графику частот МСВ. Величина смещения математических ожиданий составляет 0.002695 и превышает суммарное значение доверительных интервалов. Таким образом, найденное смещение обладает статистической состоятельностью. Симметрическая разность множеств составляет 19.8559%. Эффект смещения указывает на то, что с увеличением значений многомерной суточной вероятности в меньшие по продолжительности интервалы ее значений попадает большее число геособытий.

Распределение частот извержений аппроксимируется функцией нормального распределения с математическим ожиданием 0.168162, средним квадратическим отклонением 0.011001. Доверительный интервал для математического ожидания при доверительной вероятности 0.99 равен ± 0.000168 . Значения математического ожидания в доверительном интервале изменяются от 0.167994 до 0.168330.

Распределение частот МСВ аппроксимируется функцией нормального распределения с математическим ожиданием 0.171871, средним квадратическим отклонением 0.010955. Доверительный интервал для математического ожидания при доверительной вероятности 0.99 равен ± 0.000881 . Значения математического ожидания в доверительном интервале изменяются от 0.171090 до 0.172852. В распределении частот извержений и частот МСВ так же проявляется смещение графика частот извержений в область больших значений МСВ, по отношению к графику частот МСВ (рис. 3). Величина смещения составляет 0.003809 и является статистически достоверной. Симметрическая разность множеств составляет 25.8624%.

Таким образом, в результате анализа определено статистически достоверное смещение (рис. 3) множества частот геособытий (как землетрясений, так и вулканических извержений) в область высоких значений многомерной суточной вероятности (МСВ) по отношению к области распределения частот многомерной суточной вероятности.

Значения суточной вероятности определяются числом анализируемых событий (выборки 1030 извержений и 1838 землетрясений), приходящихся на продолжительные интервалы времени (с 1900 по 1977 гг. для извержений и с 1900 по 1994 гг. для землетрясений, что составляет 28489 и 34698 суток соответственно). В зависимости от величины выборки числовые характеристики суточной вероятности могут меняться. В связи с этим репрезентативными представляются значения отклонений суточных вероятностей от среднего для выборки. Среднее значение суточной вероятности для землетрясений составляет 5.30%, для извержений – 3.62%. Результаты распределения суточной вероятности в зависимости от МСВ (табл. 3, 4) показывают, что землетрясения в диапазоне МСВ от 0.265 до 0.275 (1.63% землетрясений) характеризуются суточной вероятностью от 11.54% до 11.65%, что в 2.18–2.20 раза превосходит среднее для всего массива значение. В диапазоне МСВ от 0.245 до 0.265 (34.11% землетрясений) суточная вероятность изменяется от 6.00% до 7.74% и превосходит среднее в 1.13–1.46 раза. В диапазоне МСВ от 0.205 до 0.220 (2.34% землетрясений) суточная вероятность в среднем в 1.92 раза уступает среднему значению. Для вулканических извержений в диапазоне МСВ от 0.190 до 0.200 (5.44% извержений) суточная вероятность имеет значения от 8.02% до 9.44% т.е. превосходит среднее в 2.22–2.61 раза. В диапазоне МСВ от 0.180 до 0.190 (16.5% извержений) суточная вероятность находится в пределах 5.07–5.88% и превосходит среднее в 1.40–1.62 раза. В диапазоне МСВ от 0.140 до 0.160 (13.3% извержений) суточная вероятность в среднем в 1.7 раза меньше среднего для всей исследуемой совокупности. Таким образом, определяются диапазоны МСВ с повышенными более чем вдвое относительно среднего и уступающими в 1.7–1.9 раза среднему значению суточными вероятностями геособытий.

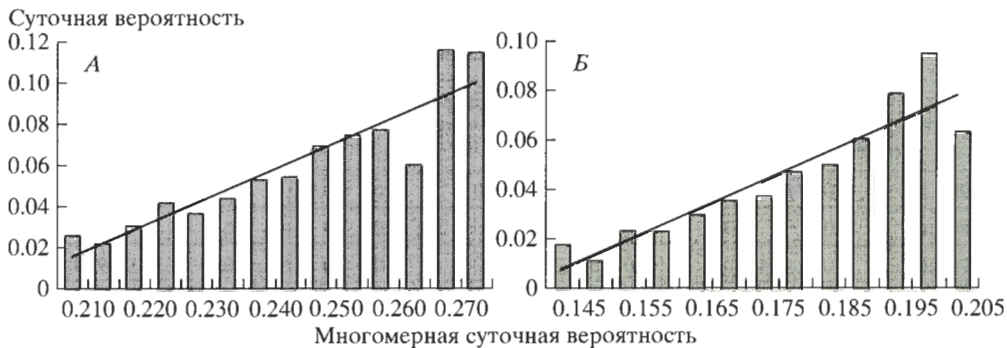


Рис. 4. Распределение суточной вероятности землетрясений (А) и вулканических извержений (Б) в зависимости от многомерной суточной вероятности



Рис. 5. Графики суточной вероятности землетрясений (А) и вулканических извержений (Б) на период 2005–2007 гг.

Исследование характера связи суточной вероятности (частот) геособытий с многомерной суточной вероятностью выявляет ее близкий к линейному характер (рис. 4). Линейный тренд выражается формулой $y = ax + b$. В нашем случае, для землетрясений $a = 1.312354$, $b = -0.2564488$, для извержений $a = 1.888757$, $b = -0.1610337$. На основе рассчитанных по данным астрономических эфемерид (Standish, 1997) значений многомерной суточной вероятности и с учетом полученных коэффициентов были рассчитаны прогнозные значения суточных вероятностей на период 2005–2007 гг. для землетрясений и вулканических извержений (рис. 5).

Полученные вероятностные оценки хронологической структуры активности вулканических и сейсмических процессов относятся ко всей Земле, как планетному телу. В пространстве эта активность распределяется неоднородно. Можно предположить, что полученные для всей Земли значения суточных вероятностей распределяются по поверхности планеты пропорционально, в соответствии с частотной матрицей пространственного распределения [18, 19]. Вероятностная оценка пространственной структуры вулканических извержений и землетрясений рассчитанная по данным каталога “Извержений вулканов мира” и сейсмологической базы данных USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes представлена в таблицах 9 и 10. Числовой показатель вероятности вулканической или сейсмической активности для отдельной ячейки земной по-

Матрица пространственного распределения вулканических извержений, %

Широта	Западная долгота																	
	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
80–90 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
70–80 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19
60–70 с.ш.	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.58	0
50–60 с.ш.	0.19	0.1	1.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40–50 с.ш.	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30–40 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.49	0	0
20–30 с.ш.	0	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.49	0
10–20 с.ш.	0	0	4.47	0	0	0	0.29	0.78	1.94	4.85	0	2.62	0	0	0	0.1	0	0
0–10 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.19	0.29	0	0	0	0	0	0	0
0–10 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	1.17	0	0	0	0	0	0	0
10–20 ю.ш.	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
20–30 ю.ш.	0.68	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0
30–40 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.26	0.1	0	0	0	0	0.1	0
40–50 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.68	0	0	0	0	0	0	0
50–60 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0
60–70 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0	0	0	0	0	0
70–80 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80–90 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Широта	Восточная долгота																	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
80–90 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70–80 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60–70 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0
50–60 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.72	4.66	0.58
40–50 с.ш.	0	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	1.65	0	0
30–40 с.ш.	0	5.53	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.67	1.26	0	0	0
20–30 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.17	0	1.07	0	0	0
10–20 с.ш.	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	1.84	0	0.29	0	0	0
0–10 с.ш.	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29	0	0	4.95	0	0	0	0	0
0–10 ю.ш.	0	0	1.26	0.49	0	0	0	0	0	0	7.86	9.03	2.33	0	3.69	0.87	0	0
10–20 ю.ш.	0	0	0	0	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	0
20–30 ю.ш.	0	0	0	0	0	4.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
30–40 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55
40–50 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50–60 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	1.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60–70 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70–80 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0
80–90 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Матрица пространственного распределения землетрясений, %

Широта	Западная долгота																	
	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
80–90 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70–80 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60–70 с.ш.	0	0	0.05	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.05	0
50–60 с.ш.	0.49	0.27	0.16	0.11	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
40–50 с.ш.	0	0	0	0	0	0.71	0.33	0.05	0	0	0.11	0	0.05	0	0	0	0	0.11
30–40 с.ш.	0	0	0	0	0	0.49	2.01	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.49	0.16	0.49
20–30 с.ш.	0	0	0.05	0	0	0	0.11	0.16	0	0.05	0	0.05	0	0	0	0.05	0	0
10–20 с.ш.	0	0	0.22	0	0	0	0.05	0.92	3.05	2.07	0.33	1.25	0.05	0.05	0	0	0.05	0
0–10 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.87	2.23	0.05	0	0	0	0	0	0.05
0–10 ю.ш.	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0.54	1.80	0	0	0	0.05	0	0	0
10–20 ю.ш.	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	2.39	0.49	0.05	0	0	0	0	0
20–30 ю.ш.	1.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0.60	0	0	0	0	0	0
30–40 ю.ш.	0.11	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	1.14	0.38	0	0	0	0	0	0
40–50 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50–60 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.16	0	0
60–70 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0
70–80 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80–90 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Широта	Восточная долгота																	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
80–90 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70–80 с.ш.	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60–70 с.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50–60 с.ш.	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0.11	0.38	0.76	0.33
40–50 с.ш.	0.82	6.47	2.99	1.03	1.63	0	0.22	0.71	0.33	0.38	0.05	0.05	0.16	0.44	1.96	0.60	0.05	0.05
30–40 с.ш.	1.25	1.52	4.52	1.09	2.67	3.43	0.76	2.12	0.11	0.44	0.98	0.76	0.05	2.34	1.03	0	0	0.05
20–30 с.ш.	0	0	0	0.16	0	2.01	0.49	0.22	0.33	1.36	1.36	0.22	2.34	0.16	0.11	0	0	0
10–20 с.ш.	0	0	0	0.05	0.33	0	0	0.11	0	0.38	0	0.05	2.07	0	0.22	0	0	0
0–10 с.ш.	0.05	0.11	0.05	0.27	0	0	0	0	0	0.76	0	0.16	2.50	0.16	0	0	0	0
0–10 ю.ш.	0	0.05	0.16	0.11	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.98	1.09	1.09	0.92	1.14	1.41	0.16	0
10–20 ю.ш.	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0.11	0	0.05	1.74	0.11
20–30 ю.ш.	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.16	0.22
30–40 ю.ш.	0	0.11	0.05	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.11	0	0.05	0	0.16	0	0.27
40–50 ю.ш.	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.16	0.44
50–60 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0.05	0
60–70 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70–80 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80–90 ю.ш.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

верхности будет определяться умножением текущего значения суточной вероятности на текущую вероятностную оценку данной ячейки.

Таким образом, на основе многомерного анализа разработана вероятностная модель, позволяющая создавать приближенный сценарий развития процессов современного вулканогенно-осадочного морфолитогенеза и сейсмогенного рельефообразования, что важно для развития теории и практики глобального мониторинга и долгосрочного прогнозирования как геодинамической активности Земли в целом, так и эволюции форм ее рельефа, в частности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Симонов Ю.Г.* Проблемы регионального прогноза (состояние, теория, методы). М.: Наука, 1982, 264 с.
2. *Шукин И.С.* Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1964, Т. 2. 564 с.
3. *Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980, 212 с.
4. *Белоусов Т.П., Чичагов В.П.* О взаимодействии карстовых, тектонических и сейсмологических процессов при формировании рельефа эпицентральной зоны Рачинского землетрясения 1991 г. на юге Большого Кавказа // ДАН СССР. 1992. Т. 325. № 4. С. 703–710.
5. *Лукашов А.А.* Рельеф планетных тел. М.: Изд-во МГУ, 1996. 112 с.
6. *Мальшица Л.К.* Внеземной вулканизм (информационный обзор) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 65–77.
7. *Мархинин Е.К.* Вулканизм. М.: Недра, 1985. 288 с.
8. *Очерки сравнительной планетологии.* М.: Наука, 1981, 328 с.
9. *Федоров В.М.* Системы отсчета времени в географии // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2002. № 4. С. 21–26.
10. *Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И.* Курс общей астрономии. М.: Наука, 1983, 560 с.
11. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира (каталог). М.: Наука, 1979, 476 с.
12. Data Base Significant Worldwide Earthquakes (2150 B.C.–1994 A/D/). www.neic.cr.usgs.gov/neic/epic/epic_global.html.
13. *Федоров В.М.* Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками ее орбитального движения // Вулканология и сейсмология, № 5, 2001, с. 65–67.
14. *Федоров В.М.* Сопоставление хронологии вулканической и сейсмической активности Земли с ее орбитальным движением // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 5. С. 16–20.
15. *Федоров В.М.* Хронологическая структура и вероятность вулканической активности в связи с приливной деформацией литосферы // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 44–50.
16. *Standish E.M., Newhall X.X., Williams J.G., Folk W.M.* JPL Planetary and Lunar Ephemerides (DE-406). 1997. www.willbell.com.
17. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
18. *Левин Б.В., Чирков Е.Б.* Особенности широтного распределения сейсмичности и вращение Земли // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 65–69.
19. *Федоров В.М.* Особенности широтного распределения вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. № 4. 2002. С. 39–43.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.01.2006

MULTIVARIATE ANALYSIS AND STOCHASTIC MODEL OF ENDOGENOUS PROCESSES

V.M. FEDOROV

S u m m a r y

Volcanic and seismological processes of relief formation are cosmic processes. In this paper, an attempt was made to analyse their time series in connection with parameters of orbital movement of the Earth. Data on volcanic eruptions (according to Catalogue Worldwide Volcanic Eruptions, Guschenko, 1979), earthquakes with $M > 5$ (according to USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes), and astronomical parameters – distances between the Earth and the Moon, the Earth and the Sun, lunar ecliptic latitude, differences of geocentric longitudes of the Moon and the Sun, Venus and the Sun, Mars and the Sun (according to JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE-406) were used. The values of multivariate diurnal probability were calculated. The latter has linear correlation with diurnal probability of “geoevents”. On the basis of these results and with the use of astronomical ephemerides the global probability of volcanic and seismic activity was calculated for the years 2005–2007.