

УДК 551.432.7→551.21

© 2003 г. В.М. ФЕДОРОВ

**ОСОБЕННОСТИ ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ
РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ¹**

Известно, что вращение Земли и изменение во времени скорости ее вращения в значительной мере определяют закономерную ориентировку земных деформаций и дислокаций, подтверждением чего является выявление т.н. “критических” параллелей. Ротация, определяемая взаимодействием гравитационного поля Земли с таковыми других планет Солнечной системы, Луны и Солнца, является одним из факторов, влияющих на форму и структуру Земли. Предполагается, что гравитация воздействует на литосферу через приливные силы [1, 2], влияющие на скорость вращения Земли и определяющие локализацию и динамику соответствующих деформаций земной коры. Еще И. Кант предполагал, что приливное трение, возникающее между литосферой и гидросферой и являющееся следствием периодического движения воды, замедляет вращение Земли [3]. Вероятно, трение возникает между всеми оболочками Земли, находящимися в различных фазовых состояниях (лито-, гидро- и атмосфера). Вследствие трения при периодическом смещении оболочек друг относительно друга происходит, например, переход гравитационной энергии приливов в механическую и тепловую. Таким образом, с И. Канта в науке появилось предположение о том, что приливы создают движение, противоположное вращению Земли, что может отражаться как на составе и структуре земной коры, так и на происходящих в ней и на ее поверхности процессах. Эмпирически обоснованной теорией это положение Канта сделал Р. Майер, а затем последовала дальнейшая его детализация (В. Томсон и др.). Позднее появились идеи о правильной пространственной структуре земной коры, определяемой правильной периодичностью приливного воздействия (А.П. Карпинский, А.И. Воейков, А.А. Тилло). Гравитационные силы, проявляющие себя в приливообразующих воздействиях Луны и Солнца, указывались в качестве основной причины деформации земной коры в работе Л.С. Лейбензона [4]. Известны объяснения закономерностей пространственной структуры дислокаций земной коры А. Вероне [5]. Им, в частности, обосновывалась выявленная закономерность распределения большинства широтных дислокаций вблизи параллелей 35° с. и ю.ш. Причины отмеченного распределения связывались с прецессионными нарушениями на планете при ее вращении под действием Луны и Солнца, в результате чего ее ось вращения непрерывно отклоняется от основного положения и, таким образом, совершает колебания. Под влиянием прецессии, вызванной возмущающими силами Луны и Солнца, в теле планеты по обе стороны от 35-х параллелей создаются тангенциальные напряжения. А. Вероне анализируются не только причины нарушений в земной коре, но и приливное замедление вращения Земли. Их совместное влияние, по мнению исследователя, и определяет отмеченный порядок распределения дислокаций на планете. Им разработана схема, показывающая, как на 35-й параллели сходятся воздействия со стороны полюсов и экватора, создающие

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 00-05-64044).

Распределение вулканических извержений по широтным зонам

Географическая широта, град.	Число извержений	%	Число извержений	%
75–80 с.ш.	0	0.00	2	0.19
70–75	2	0.19		
65–70	3	0.29	10	0.97
60–65	7	0.68		
55–60	65	6.30	106	10.28
50–55	41	3.98		
45–50	17	1.65	47	4.56
40–45	30	2.91		
35–40	99	9.60	158	15.32
30–35	59	5.72		
25–30	17	1.65	30	2.91
20–25	13	1.26		
15–20	65	6.30	180	17.46
10–15	115	11.15		
5–10	6	0.58	62	6.01
0–5 с.ш.	56	5.43		
0–5 ю.ш.	109	10.57	279	27.06
5–10	170	16.49		
10–15	13	1.26	30	2.91
15–20	17	1.65		
20–25	60	5.82	61	5.92
25–30	1	0.10		
30–35	1	0.10	31	3.01
35–40	30	2.91		
40–45	5	0.48	7	0.68
45–50	2	0.19		
50–55	20	1.94	24	2.33
55–60	4	0.39		
60–65	2	0.19	2	0.19
65–70	0	0.00		
70–75	0	0.00	2	0.19
75–80 ю.ш.	2	0.19		
Всего	1031	100	1031	100

чередующиеся расширения и сжатия пород, дислокации и зоны разломов земной коры [5].

Эти же 35-е параллели назывались “параллелями сочленения и деформации” в работах П. Аппеля [6]. Им также отмечалась роль прецессии в создании тангенциальных ускорений (“горизонтальных сил, вызываемых Луной на поверхности Земли”). М.В. Стовас [7], рассматривая Землю как двухосный эллипсоид вращения при неизменном объеме, пришел к выводу, что поверхность эллипсоида меняется при изменениях сжатия незначительно, но при этом происходит большое сопряженное изменение площадей: с одной стороны, от экватора до критических параллелей $\pm 35^\circ$ и, с другой, от полюса до тех же параллелей. При этом выделяется система параллелей: $0, \pm 35^\circ, \pm 61-62^\circ$ и $\pm 90^\circ$, которые являются динамически наиболее восприимчивыми к изменениям угловой скорости вращения. На параллели $\pm 35^\circ$, как на места локализации дислокаций в связи с вращением Земли, указывали и другие исследователи: Бем фон Бемерсгейм, Ли Сы-Гуан, В.А. Магницкий, Д.И. Мушкетов, А.П. Карпинский, Ф.Н. Красовский, Б.Л. Личков, Г.Н. Каттерфельд и др. [3, 8–14].

Нами исследовалось пространственное распределение вулканических извержений, имеющих точные географические координаты и хронологические датировки в

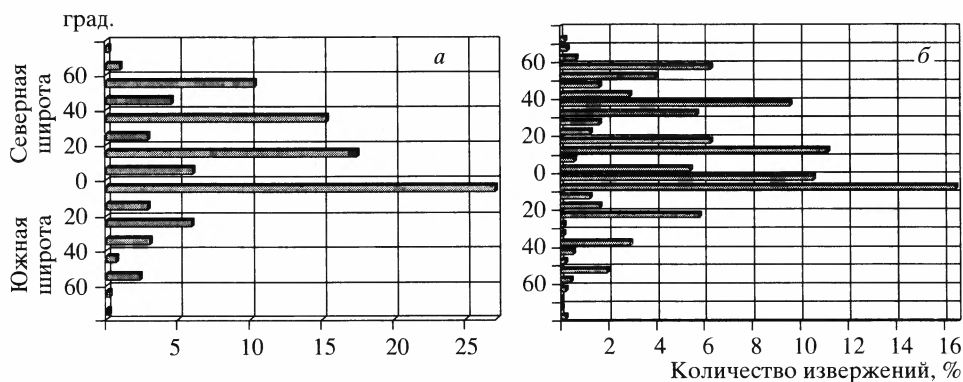


Рис. 1. Распределение вулканических извержений по широтным зонам (а – 10-градусным, б – 5-градусным)

каталоге “Извержения вулканов мира” за период 1900–1977 гг. [15]. Всего было проанализировано 1030 вулканических извержений (около 2/3 от всех зафиксированных в прошлом столетии) по 272 вулканам. Вулканические события распределялись по широтным зонам протяженностью в 5 и 10°. Результаты распределения извержений представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Из всех 1030 зафиксированных извержений 595 (57.7%) приходится на северное полушарие, а 435 (42.3%) – на южное. При этом для обоих полушарий отмечаются сходные закономерности, но выраженные с разной интенсивностью. Так, в северном полушарии в масштабе 10-градусной шкалы (рис. 1, а) выделяются три широтные зоны (10–20, 30–40 и 50–60° с.ш.), на которые приходится в общей сложности 46.1% общего числа извержений и 74.6% извержений северного полушария. Число извержений, отмеченных для каждой из этих широтных зон, последовательно уменьшается от экватора к полюсу. Так, в зоне 10–20° с.ш. за весь период с 1900 по 1977 гг. фиксируется 180 извержений (17.5% общего числа), в зоне 30–40° с.ш. – 158 (15.3%), в зоне 50–60° с.ш. – 106 (10.3%). Возможно, это зоны преимущественного расширения земной коры, к которым приурочены образование и развитие нарушений ее сплошности. Снятие нагрузки в результате развития трещин в земной коре изменяет динамические условия магматической среды (давление) и приводит к активизации вулканических процессов. Отмеченные зоны повышенной вулканической активности разделяются зонами относительного вулканического покоя: 0–10° (6%), 20–30° (2.9%), 40–50° (4.6%) с.ш. На зоны относительного вулканического покоя приходится 139 вулканических извержений (13.4% от их общего числа и 23.4% извержений в северном полушарии). В среднем количество извержений в активных зонах в 3.2 раза больше, чем в зонах относительного покоя (для северного полушария).

Характер распределения вулканических извержений, полученный для северного полушария, можно аппроксимировать математически. Из гистограмм заметна периодичность в их широтном распределении. Поэтому аппроксимация проводилась в классе тригонометрических полиномов невысокой степени. Так, если принять за $f(\varphi)$ число событий в интервале широт от $\varphi - 5^\circ$ до $\varphi + 5^\circ$ и учесть, что $f_{\max} = f(-5) = 279$, то распределение извержений с погрешностью 0.2 аппроксимируется функцией:

$$h(\varphi) = f(\varphi)/f_{\max} \approx 0.9 \cos(x) [0.22 + 0.73 \cos^2(8x) + 0.06 \sin(8x) + 0.05 \cos(8x)].$$

Аргумент функции $x = 9/8(\varphi + 5)$. Множитель 9/8 подобран для уменьшения погрешности в связи с тем, что рассматривается не сама широта, а функция, пропорциональная широте.

Зона максимального числа извержений северного полушария отделяется от зоны абсолютного максимума вулканической активности (0–10° ю.ш.) зоной относитель-

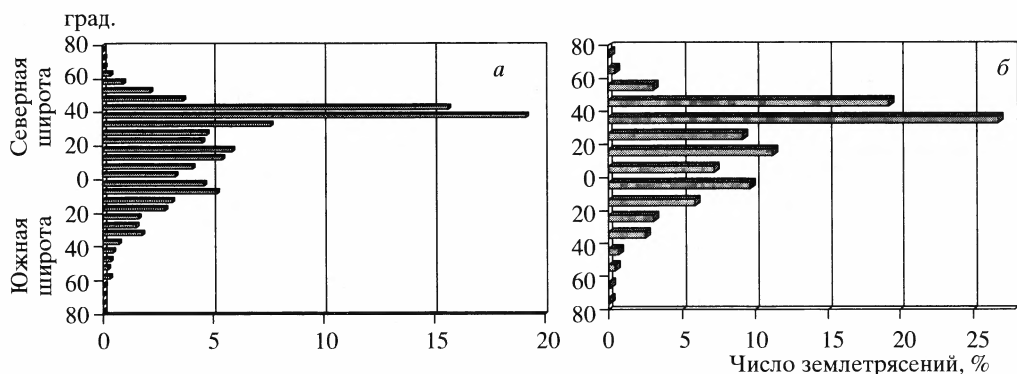


Рис. 2. Распределение землетрясений по широтным зонам (а – 10-градусным, б – 5-градусным)

ного покоя ($0-10^{\circ}$ с.ш.). Далее для южного полушария отмеченная закономерность зонального распределения вулканических извержений четко фиксируется в масштабе 5-градусной шкалы (рис. 1, б). Здесь, в отличие от северного полушария четко выражена зона вулканической активности в интервале $0-10^{\circ}$ ю.ш. На эту зону приходится 279 вулканических извержений, что составляет 27.1% от их общего числа и 64.1% извержений в южном полушарии. На преобладающее размещение земных вулканов в экваториальной зоне указывал еще К. Шнейдер [16, 17]. Их деятельность он связывал с колебаниями оси вращения Земли. Другие зоны вулканической активности приходятся на широты $20-25^{\circ}$ (5.5% общего числа извержений и 13.5% извержений для южного полушария), $35-40^{\circ}$ (2.9 и 6.9% соответственно), $50-55^{\circ}$ ю.ш. (1.9 и 4.6%). Зоны вулканической активности в южном полушарии выражены с меньшей интенсивностью, чем в северном. На каждую активную зону (за исключением максимальной – $0-10^{\circ}$ ю.ш.), в среднем приходится 3.4% общего числа извержений, тогда как в северном полушарии к зоне относительного покоя приурочено в среднем 4.5% общего числа извержений. Более узкие 5-градусные зоны вулканической активности разделяются здесь более широкими 15-градусными зонами относительного тектонического покоя. Симметрично относительно плоскости экватора (рис. 1, б) расположены зоны в интервалах широт: $35-40^{\circ}$ (9.6 и 2.9% общего числа извержений в северном и южном полушариях соответственно), $50-55^{\circ}$ (4.0 и 1.9%).

Деформации, определяющие нарушение сплошности земной коры, могут быть обусловлены воздействием приливов на земной эллипсоид. В южном, океаническом полушарии [18, 19] энергия приливов может в большей степени расходоваться в гидросфере, в то время как в континентальном северном полушарии приливная энергия в большей степени передается литосфере. Этим может объясняться различная протяженность и интенсивность зон вулканической активности и покоя по полушариям.

Проведенные нами исследования позволили получить структуру широтного распределения вулканических извержений, характер которого напоминает стоячую волну с затухающей к полюсам амплитудой колебаний. Распределение вулканических извержений может отражать характер деформаций в земной коре, который имеет вид продольной стоячей волны (растяжения и сжатия) с затуханием амплитуды от экватора к полюсам.

Волна может быть связана с колебанием земной оси в результате прецессии. Экваториальная плоскость также испытывает колебания в результате прецессии (сохраняя нормальное по отношению к земной оси положение) и выполняет функцию гармонического осциллятора. Это основное движение (с периодом около 26 000 лет), колебательное по характеру, на которое накладывается другое, связанное с вращением

Распределение землетрясений по широтным зонам

Географическая широта, град.	Число землетрясений	%	Число землетрясений	%
75–80 с.ш.	0	0.00	1	0.05
70–75	1	0.05		
65–70	1	0.05	7	0.38
60–65	6	0.33		
55–60	17	0.92	56	3.05
50–55	39	2.12		
45–50	67	3.65	355	19.31
40–45	288	15.67		
35–40	353	19.21	493	26.82
30–35	140	7.62		
25–30	87	4.73	170	9.25
20–25	83	4.52		
15–20	108	5.88	207	11.26
10–15	99	5.39		
5–10	74	4.03	134	7.29
0–5 с.ш.	60	3.26		
0–5 ю.ш.	84	4.57	179	9.74
5–10	95	5.17		
10–15	58	3.16	110	5.98
15–20	52	2.83		
20–25	29	1.58	57	3.10
25–30	28	1.52		
30–35	33	1.80	46	2.50
35–40	13	0.71		
40–45	8	0.44	13	0.71
45–50	5	0.27		
50–55	4	0.22	9	0.49
55–60	5	0.27		
60–65	1	0.05	1	0.05
65–70	0	0.00		
70–75	0	0.00	0	0.00
75–80 ю.ш.	0	0.00		
Всего	1838	100	1838	100

Земли вокруг оси. Центробежная сила является функцией широты, и она определяет закономерное уменьшение амплитуды распределения вулканических извержений от экватора к полюсам. Итогом соотношения прецессионного и вращательного движения Земли может быть и продольная стоячая волна, определяющая чередование зон растяжения (активности) и сжатия (покоя) в земной коре с затухающей к полюсам интенсивностью процессов. Длина волны для северного полушария составляет около 20°, для южного – около 15° широты (максимумы в северном полушарии 15–20, 35–40, 55–60°, в южном – 20–25, 35–40, 50–55°). Затухание составляет около трех извержений на 1° широты для северного полушария и около пяти для южного полушария (вероятно, за счет океаничности).

Для анализа распределения землетрясений в полях астрономических показателей использовалась сейсмологическая база данных USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes [20]. Всего было проанализировано широтное распределение 1838 разрушительных и катастрофических землетрясений с магнитудой более 5.0.

Распределение землетрясений представлено на рис. 2 и в табл. 2. Для распределения в целом характерно общее уменьшение числа землетрясений к полюсам. Однако правильность симметричного относительно экватора распределения существенно

нарушается четким максимумом, выраженным в районе “критических” параллелей северного полушария – 35–55°. Интересно, что распределение землетрясений коррелируется с распределением суши по широтным зонам [18, 19] с коэффициентом корреляции 0.70. В распределении землетрясений по полушариям отмечается четкая асимметрия. Так, для северного полушария фиксируется 1423 землетрясения, или 77.42% от общего количества за рассматриваемый период. Для южного – 409, или 22.25%. Таким образом, на фоне широтной симметрии (относительно земного экватора) в распределении землетрясений, связанной, вероятно, с вращением Земли, отмечается тесная связь числа землетрясений с распределением площади суши на Земле, что проявляется резким увеличением числа землетрясений в зоне 35–55° с.ш.

Влияние вращения Земли ранее отмечалось в распределении сейсмичности [21]. Устойчиво проявляющийся локальный максимум на 35° с.ш. имеет и иное объяснение, связанное с приливными деформациями земного эллипсоида. Оно теоретически обосновано в работах Ф.Н. Красовского, В.А. Магницкого, М.В. Стоваса, Г.Н. Каттерфельда [7, 9, 11, 12]. В распределении землетрясений также отмечаются локальные максимумы для зон 0–10° ю.ш. и 10–20° с.ш., характерные и для широтного распределения вулканических извержений. Отмеченное сходство указывает на существование общих причин особенностей широтного распределения активности сейсмических и вулканических процессов на Земле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Ю.Ф. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Федоров В.М. Гравитационные факторы и астрономическая хронология геосферных процессов. М.: Изд-во МГУ, 2000. 368 с.
3. Личков Б.Л. Природные воды Земли и литосфера. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 163 с.
4. Лейбензон Л.С. Деформация упругой сферы в связи с вопросом о строении Земли / Собр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 4. 248 с.
5. Veronnet A. Constitution et evolution de l'Univers. Paris: 1927. P. 62–63.
6. Appel P. Traite de mecanique // Les figures d'equilibre d'une masse liquide homogene en rotation. Paris: 1932. Т. 4. Р. 21–48.
7. Стовас М.В. О роли неравномерности вращения Земли и образовании планетарных глубинных разломов земной коры // Геогр. сб. Вып. XV. Астрогеология. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 29–44.
8. Карпинский А.П. О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов // Горный журнал. 1888. № 1. С. 7–18.
9. Красовский Ф.Н. Современные задачи и развитие градусных измерений // Изв. АН СССР. Сер. география и геофизика. 1941. № 3. С. 3–11.
10. Ли Сы-Гуан. Геология Китая. М.: Изд-во иностр. лит., 1952. 242 с.
11. Магницкий В.А. Внутреннее строение Земли. М.: Недра, 1961. 168 с.
12. Каттерфельд Г.Н. К проблеме образования морфологического лика планет типа Земли // Геогр. сб. Вып. XV. Астрогеология. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 104–131.
13. Мушкетов Д.И. Региональная геотектоника. Л.-М.: ОНТИ, 1935. 236 с.
14. Bohm von Bohnersheim A. Abplattung und Gebirgsbildung. Leipzig und Wien: 1910. 248 p.
15. Гуценко И.И. Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 476 с.
16. Schneider K. Die Vulcanische Erscheinungen der Erde. Berlin: 1912. 168 p.
17. Schneider K. Zur Frage die Ursachen geotektonische Bewegungen. Geolog. Rindschau. VI. Heft 2, 3. 1917. P. 14–27.
18. Ермолаев М.М. Введение в физическую географию. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. 260 с.
19. Марков К.К., Добродеев О.П., Симонов Ю.Г., Суетова И.А. Введение в физическую географию. М.: Высш. шк., 1973. 183 с.
20. Data Base Significant Worldwide Earthquakes (2150 B.C. – 1994 A.D.). [Http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html](http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html).
21. Левин Б.В., Чирков Е.Б. Особенности широтного распределения сейсмичности и вращение Земли // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 65–69.

LATITUDINAL DISTRIBUTION OF ENDOGENIC RELIEF-FORMING PROCESSES AND ROTATION OF EARTH

V.M. FEDOROV

Summary

An analysis of factual data on volcanic eruptions (during the period of 1900 to 1977) has revealed a pattern in eruptions distribution over latitudinal zones of the Earth and elucidated special features of the distribution related to the Earth's rotation and precession of its axis.

The general rotation-dependent regularity consists in total number of eruptions decreasing from; it is complicated by regular alternation of zones of active volcanism and relatively quiet zones. The distribution of eruptions resembles a standing wave with vibration amplitude damping out towards from equator toward poles; it reflects wave character of processes of crustal deformation of the Earth ellipsoid. The wave length is $\sim 20^\circ$ of latitude in the Northern Hemisphere and $\sim 15^\circ$ in the Southern Hemisphere. Maximums are at $15-20^\circ$, $35-40^\circ$, $55-60^\circ$ in the Northern Hemisphere, and at $0-10^\circ$, $20-25^\circ$, $35-40^\circ$ and $50-55^\circ$ in the Southern one. The rate of eruptions decrease with latitude amounts to about 3 eruptions per 1° in the Northern Hemisphere and about 5 in the Southern.

Distribution of seismic events over latitude was analyzed using USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes database. Some regularities in earthquakes number changes with latitude have been established for both hemispheres.

УДК 551.4.072(4/5)

© 2003 г. А.П. ДЕДКОВ, Д.А. ТИМОФЕЕВ, В.В. МОЗЖЕРИН, И.И. СПАСКАЯ

РЕЛИКТЫ КЛИМАТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО В РЕЛЬЕФЕ ЕВРАЗИИ¹

Уже в XIX столетии стало известно, что в рельефе Евразии сохраняются формы и связанные с ними континентальные отложения, образовавшиеся в условиях климатов, существенно отличных от современных. На равнинах умеренного пояса были выявлены созданные древними ледниками формы и отложения, в пустынях Центральной Азии – сухие долины и русла, сформированные в более влажном "плювиальном" климате.

В первой половине XX века, как и в конце XIX, господствовала трехчленная геоморфологическая дифференциация климатов. Рельефообразование идет разными путями в климатах ледниковых, аридных и гумидных ("нормальных"). Последние характерны для большей части суши Земли, где текут реки и обитает человечество. Эрозионный цикл В.М. Дэвиса [1] и морфологический анализ В. Пенка [2], создавшие основу для самостоятельного развития геоморфологии, разработаны для "нормального" климата. В.М. Дэвис охарактеризовал также общие закономерности развития рельефа в аридном и ледниковом климатах [1]. Вместе с тем предпринимались попытки климато-геоморфологической дифференциации обширного пространства "нормального" климата. А. Пенк [3] обратил внимание на некоторые особенности рельефообразования в областях вечной мерзлоты, степях, полупустынях и др. В.Д. Ласкарев [4] отметил сходство столово-останцового рельефа Подолии с аналогичным рельефом современных саванн и полупустынь Африки. П. Кесслер [5] в Германии и Е.В. Шанцер [6] в России установили большую роль в развитии склонов смен умеренного и перигляциального климатов. Появились и другие работы о том, что внутри пространства "нормального" климата рельефообразование, в зависимости от конкретных ландшафтно-климатических условий, идет разными путями. И смена этих

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 00-05-64013).