

---

---

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

---

---

УДК 551.211

DOI 10.29003/m668.0514-7468.2019\_41\_3/250-263

## ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ И ОСОБЕННОСТИ ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**В.М. Фёдоров<sup>1</sup>**

*Широтное распределение эндогенной активности Земли определяется центробежной силой, связанной с вращением Земли вокруг оси и являющейся функцией географической широты. На общем фоне уменьшения эндогенной активности от экватора к полюсам выявлены зоны высокой активности и зоны покоя. Северное полушарие характеризуется более высокой вулканической и сейсмической активностью, чем южное. В широтном распределении сейсмической активности проявляется фактор широтного распределения земной коры континентального типа, с которым связана локализация максимума сейсмической активности в широтной зоне 35°–45° с. ш.*

**Ключевые слова:** эндогенная активность, вулканизм, сейсмика, вращение Земли.

**Ссылка для цитирования:** Фёдоров В.М. Вращение Земли и особенности широтного распределения вулканической и сейсмической активности // Жизнь Земли. 2019. Т. 41. № 3. С. 250–263. DOI 10.29003/m668.0514-7468.2019\_41\_3/250-263.

Поступила 11.02.2019 / Принята к публикации 03.07.2019

## EARTH'S ROTATION AND FEATURES OF LATITUDINAL GRADIENTS OF VOLCANIC AND SEISMIC ACTIVITY

*V.M. Fedorov, PhD*

*Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geography)*

*Latitudinal gradients of Earth's endogenous activity were proved to determine by centrifugal force related to rotation of the Earth around its own axis and be geographical latitude function. Areas of high activity and quiet zones were detected against a backdrop of endogenous activity decreasing from the equator to poles. The northern hemisphere is*

---

<sup>1</sup> Фёдоров Валерий Михайлович – к.г.н., в.н.с. географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, [fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru).

*characterized by higher volcanic and seismic activity than the southern one. In latitudinal gradients of seismic activity is revealed a latitudinal gradient with which localization of seismic activity maximum in 35°–45° N zone is connected.*

**Keywords:** *endogenous activity, volcanism, seismics, rotation of the Earth.*

**Введение.** Исследование пространственно-временных закономерностей эндогенных (вулканических и сейсмических) рельефообразующих процессов с целью разработки методов географического прогнозирования определяемых этими процессами опасных природных явлений представляется актуальным как в научном, так и в практическом аспектах.

Рельеф является важнейшим компонентом природной среды, на фоне и при непосредственном взаимодействии с которой происходит развитие человека и общества. Рельеф земной поверхности находится в постоянном развитии и представляет собой динамически активную поверхность, обобщённо отражающую результат космо-земного взаимодействия и сочетания эндогенных и экзогенных рельефообразующих процессов. Исследование эндогенных рельефообразующих процессов является одной из важнейших задач динамической геологии и геоморфологии.

Эндогенные процессы обуславливают различные типы тектонических 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. Всё это указывает на исключительно важную роль эндогенных, в частности, вулканических и сейсмических процессов в рельефообразовании на поверхности Земли и других планетных тел Солнечной системы.

Почти половина всего населения Земли проживает в сейсмически активных районах. В среднем на Земле за год происходит свыше 20 сильнейших и 100–200 потенциально разрушительных землетрясений. Ежегодно в мире от землетрясений гибнет в среднем 10–15 тыс. человек. Отдельные катастрофические землетрясения уносят одновременно сотни тысяч жизней, как например, землетрясение 1976 г. в Китае. Материальный ущерб исчисляется в среднегодовом расчёте в 400 млн долларов США [19, 20, 23].

Ежегодно на Земле происходит 20–30 вулканических извержений (иногда это количество увеличивается до 40–45). Бедствия от деятельности вулканов вызываются потоками расплавленной лавы, палящими тучами, пепловыми и грязевыми потоками, выбросами пирокластического материала. Кроме того, с извержениями часто связаны землетрясения, оползни, цунами. В настоящее время в опасной близости от действующих и спящих вулканов проживает около 200 млн человек [2, 10]. Над ними постоянно тяготеет опасность вулканической катастрофы. Например, в Индонезии более 2,5 млн человек проживают на склонах и в окрестностях 128 активных вулканов, 66 из которых классифицируются как крайне опасные. На самом густонаселённом острове Индонезии – Яве насчитывается 21 действующий вулкан. В Японии расположено около 200 вулканов, из которых 80 действующих (это примерно 1/10 всех действующих вулканов мира). Каждый год жертвами действующих вулканов становятся в среднем 1000 человек. По данным ЮНЕСКО за последние 500 лет от вулканических извержений и их последствий погибло более 200 тыс. человек [10]. Общий материальный ущерб человечества от вулканических и сейсмических процессов огромен.

В связи с этим особенно актуальными и социально значимыми представляются исследования пространственных особенностей эндогенной активности Земли. Исследования вулканических и сейсмических процессов представляются актуальными в плане создания сценариев развития Земли как планетного тела в целом и прогноза развития её рельефа, в частности.

**Вулканическая активность.** Вулканические и сейсмические процессы являются процессами космическими, элементами эволюции небесных тел, проявляющимися в активной форме на планетах земной группы и многих спутниках планет [16, 20, 22]. Вулканизм был и остаётся одним из ведущих рельефообразующих факторов, активно изменяющих земную поверхность, на которой расположены основные ценности современной цивилизации. Участие вулканизма в формировании рельефа заключается, с одной стороны, в создании вулканических форм, с другой – реализуется через влияние вулканической активности на развитие других рельефообразующих процессов, как в региональном (в вулканических районах и областях), так и в глобальном масштабах. В целом современный вулканизм прямо или косвенно влияет на формирование рельефа на площади не менее 1 млн км<sup>2</sup> [17].

Вулканизм представляет собой явление, присущее не только Земле, но и широко распространённое в космосе. Существуют представления о вулканизме, как об определяющем факторе формирования внешних оболочек многих космических тел и географической оболочки Земли, включающей литосферу, гидросферу и атмосферу [16, 20]. Космические тела, например, планеты Солнечной системы, имеют некоторые общие черты эволюции, к которым можно отнести и вулканизм. Исследование ближайших к Земле планет и тел Солнечной системы, прежде всего Луны, Меркурия, Марса и Венеры, свидетельствует о том, что в эволюции этих небесных тел, как и в эволюции Земли, вулканические явления имели существенное значение. Роль вулканизма в строении таких небесных тел, как Луна, Меркурий, Марс, подтверждается широким распространением в их современном рельефе различных вулканических форм (кратеры, купола, кальдеры, борозды, дайки и др.) и пород вулканогенного происхождения [15, 16].

Вулканическая деятельность на Земле происходила в течение всей истории её развития, хотя и с различной интенсивностью в различные геологические периоды [16]. Современный вулканизм в его наиболее активной форме представлен на единственной в Солнечной системе планете – Земле, оставаясь здесь одним из ведущих природообразующих и рельефообразующих факторов [2, 17, 22]. Динамически активными считаются Венера и Марс, а также некоторые спутники Юпитера, например, Ио. Предполагается, что энергия, необходимая для расплавления недр Ио, может возникать в результате диссипации приливных напряжений, вызываемых Юпитером. Это позволяет считать одним из возможных стимуляторов вулканизма планет и их спутников силы приливного взаимодействия между ними [5, 16, 23].

Движущей силой вулканизма является тепловая энергия Земли. По разным данным, на Земле насчитывается от 500 до 850 действующих вулканов, т. е. тех, которые за историческую эпоху проявляли свою активность. Современные вулканы располагаются на поверхности Земли поясами или группами, которые размещаются в узких областях сочленения крупных фрагментов земной оболочки – литосферных плит, состоящих из участков земной коры, подстилаемых астеносферой. В пределах зон сочленения этих литосферно–мантийных геоблоков цепочки и группы вулканов приурочены к складчатым и складчато–глыбовым тектоническим сооружениям, структурам современных и древних островных дуг, океаническим и континентальным рифтовым системам, активным

окраинам континентов и крупным континентальным горным сводам. На простирании этих структур создаются пояса расположения вулканов [2, 10, 16, 20, 22].

В настоящее время нет сомнений в том, что механизм извержений приводится в действие заключёнными в расплавленной магме газами (это, прежде всего, водяной пар, двуокись углерода, азот, двуокись серы, окиси углерода, водорода, хлора, аргона). Магматический расплав вместе с растворённой в нём газовой составляющей под большим давлением вышележащей земной коры находится в состоянии гидростатического равновесия. Однако если давление уменьшается, например, при разрыве пород и образовании открытой трещины в земной коре (дизъюнктивной деформации), то газы, растворённые в магме, под высоким давлением начинают переходить в нормальное газообразное состояние, что сопровождается значительным увеличением их объёма. При разгрузке давления, в условиях внезапного возрастания объёма, газы вызывают вспенивание магматического расплава и поднимаются кверху, захватывая его с собой. Постоянное уменьшение давления при подъёме усиливает этот процесс подобно цепной реакции. В зависимости от интенсивности дегазации магмы вулканизм характеризуется относительно быстро, но спокойно изливающимися лавовыми потоками, или взрывной деятельностью. Вулканический взрыв, происходящий у самой поверхности, также вызывает своего рода цепную реакцию, при которой резкое расширение газа распространяется на всё более глубокие уровни магматического очага. Поверхностный взрыв выбрасывает в воздух самую верхнюю часть магмы, что уменьшает вес столба магмы, а значит и его давление на более глубокие горизонты, позволяя находящемуся там газу резко расширяться. Происходящий при этом взрыв вновь уменьшает вес столба магмы и т. д. [16, 20].

Предполагается, что образование трещин, приводящих к снижению нагрузки и началу описанного процесса извержения, может быть определённым образом связано с деформациями земного эллипсоида, происходящими под действием приливных сил. Приливные деформации твёрдой оболочки в среднем составляют 1/3 деформации гидросферы и проявляются в периодическом изменении высоты и наклона земной поверхности [5, 23, 26]. Динамика приливных сил определяет периодическое изменение гидростатического давления на магму и содержащиеся в ней газы [16, 22] и, следовательно, может выполнять каталитическую функцию (триггера) в процессах вулканических извержений.

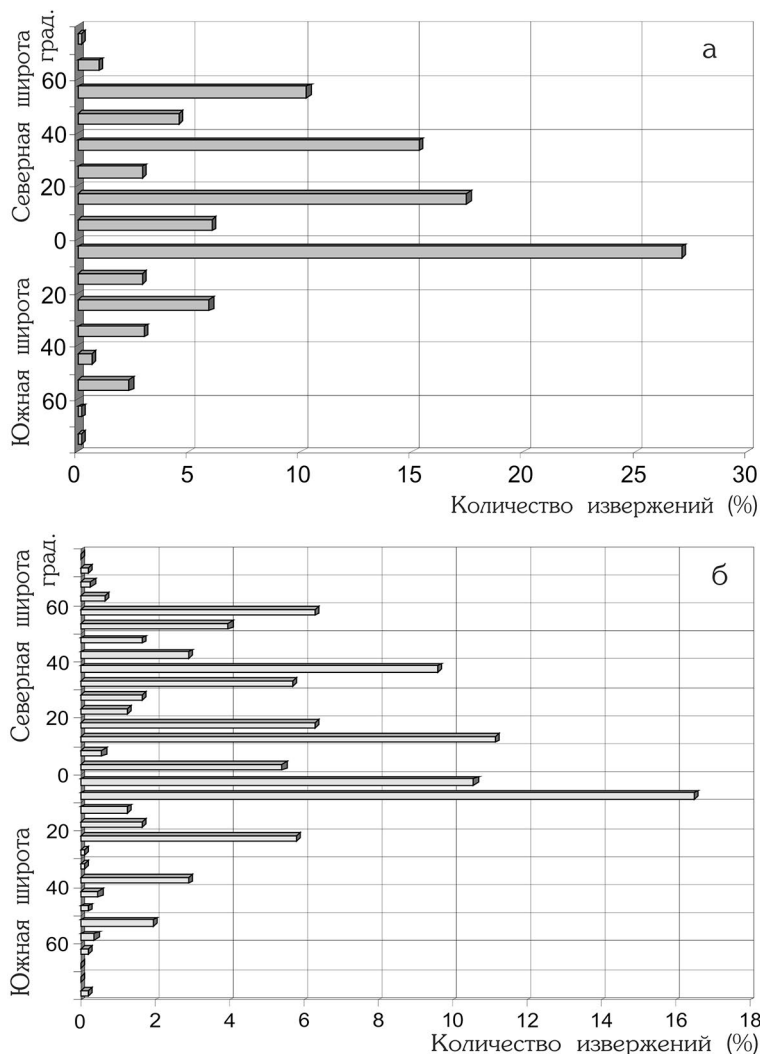
Известно, что вращение Земли и изменение во времени скорости её вращения в значительной мере определяют закономерную ориентировку земных деформаций и дислокаций, подтверждением чего является выявление т. н. «критических» параллелей. Ротация, определяемая взаимодействием гравитационного поля Земли с таковыми 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 [5, 11, 23], влияющие на скорость вращения Земли и определяющие локализацию и динамику соответствующих деформаций земной коры. Ещё И. Кант предполагал, что приливное трение, возникающее между литосферой и гидросферой и являющееся следствием периодического движения воды, замедляет вращение Земли [5, 23]. 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 энергию. Таким образом, с Канта в науке появилось предположение о том, что приливы создают движение,

противоположное вращению Земли. Это может отражаться как на составе и структуре земной коры, так и на происходящих в ней и на её 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 закономерной 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 [12]. Известны объяснения закономерностей пространственной структуры дислокаций земной коры А. Вероне (Veronnet) [29]. Им, в частности, обосновывалась выявленная закономерность распределения большинства широтных дислокаций вблизи параллелей  $\pm 35^\circ$ . Причины отмеченного распределения связывались с прецессионными нарушениями на планете при её вращении под действием Луны и Солнца, в результате чего её 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. Вероне анализируются не только причины нарушений в земной коре, но и приливное замедление вращения Земли. Их совместное влияние, по мнению исследователя, и определяют отмеченный порядок распределения дислокаций на планете. Им разработана схема, показывающая, как на 35-й параллели сходятся воздействия со стороны полюсов и экватора, создающие чередующиеся расширения и сжатия пород, дислокации и зоны разломов земной коры [29].

Эти же 35-е параллели назывались «параллелями сочленения и деформации» в работах П. Аппеля (Appel) [1]. Им также отмечалась роль прецессии в создании тангенциальных ускорений («горизонтальных сил, вызываемых Луной на поверхности Земли»). М.В. Стовас [21], рассматривая Землю как двухосный эллипсоид вращения при неизменном объёме, пришёл 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  $0^\circ$ ,  $\pm 35^\circ$ ;  $\pm 61^\circ$ – $62^\circ$  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. [6, 8, 13, 14].

Нами исследовалось пространственное распределение вулканических извержений, имеющих точные географические координаты и хронологические датировки в каталоге «Извержения вулканов мира» за период 1900–1977 гг. [4]. 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  $5^\circ$  и  $10^\circ$  (рис. 1).

Из всех 1030 зафиксированных извержений 595 (57,7 %) приходятся на северное полушарие, а 435 (42,3 %) – на южное. При этом для обоих полушарий отмечаются сходные закономерности, выраженные с разной интенсивностью. Так, в северном полушарии в масштабе 10-градусной шкалы (рис. 1 а) выделяются три широтные зоны ( $10^\circ$ – $20^\circ$ ,  $30^\circ$ – $40^\circ$  и  $50^\circ$ – $60^\circ$  с. ш.), на которые приходится в общей сложности 46,1 % общего числа извержений и 74,6 % извержений северного полушария. Число вулка-



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

**Fig. 1.** The distribution of volcanic eruptions in latitudinal zones (a – 10-degree zones, b – 5-degree zones).

нических извержений, отмеченных для каждой из этих широтных зон, последовательно уменьшается от экватора к полюсу. Так, в зоне  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  с. ш. за весь период с 1900 по 1977 гг. фиксируется 180 извержений (17,5 % общего числа), в зоне  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$  с. ш. – 158 (15,3 %), в зоне  $50^{\circ}$ – $60^{\circ}$  с. ш. – 106 (10,3 %). Возможно, это зоны преимущественного расширения земной коры, к которым приурочено образование и развитие нарушений её сплошности. Снятие нагрузки в результате развития трещин в земной коре изменяет динамические условия магматической среды (давление) и приводит к активизации вулканических процессов в этих зонах. Отмеченные зоны повышенной вулканической активности разделяются зонами относительного покоя:  $0^{\circ}$ – $10^{\circ}$  (6 %),  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$  (2,9 %),

40°–50° (4,6 %) с. ш. На эти зоны 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 северном полушарии в 3,2 больше, чем в зонах относительного покоя [24, 25].

Характер распределения вулканических извержений 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  $f(\phi)$  число событий в интервале широт от  $\phi-5$  град. до  $\phi+5$  град. и учесть, что  $f_{\max} = f(-5) = 279$ , то распределение извержений с погрешностью  $\leq 0,2$  аппроксимируется функцией

$$h(\phi) = f(\phi) / f_{\max} \approx 0,9 \cos(x) [0,22 + 0,73\cos^2(8x) + 0,06\sin(8x) + 0,05\cos(8x)] .$$

Аргумент функции  $x = 9/8 (\phi+5)$ . 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 относительного покоя (0°–10° с. ш.). Далее для южного полушария отмеченная закономерность зонального распределения вулканических извержений чётко фиксируется в масштабе 5-градусной шкалы (рис. 16). Здесь, в отличие от северного полушария, ярко выражена зона вулканической активности в интервале 0°–10° 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 ещё К. Шнейдер (Schneider) [28]. Их деятельность он связывал с колебаниями оси вращения Земли. Другие зоны вулканической активности приходятся на широты 20°–25° (5,5 % общего числа извержений и 13,5 извержений для южного полушария), 35°–40° (2,9 % и 6,9 % соответственно), 50°–55° 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 зоны максимальной активности – 0°–10° ю. ш.) в среднем приходится 3,4 % от общего числа извержений. В то же время в северном полушарии к зоне относительного покоя приурочено в среднем 4,5 % общего числа извержений. Более узкие 5-градусные зоны вулканической активности разделяются в южном полушарии более широкими 15-ти градусными зонами относительного покоя. Симметрично относительно плоскости экватора (рис. 16) расположены зоны в интервалах широт: 35°–40° (9,6 % и 2,9 % общего числа извержений в северном и южном полушариях соответственно), 50°–55° (4,0 % и 1,9 %).

Деформации, определяющие нарушение сплошности земной коры, могут быть обусловлены воздействием приливов на земной эллипсоид. В южном, океаническом полушарии [5, 23–25], энергия приливов может в большей степени расходоваться в гидросфере, в то время как в континентальном северном полушарии приливная энергия в большей степени передаётся литосфере. Этим может объясняться различная протяжённость и интенсивность зон вулканической активности и покоя по полушариям.

Проведённые 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, что отмечалось А. Вероне [29]. 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 Земли вокруг оси [23]. Поскольку центробежная сила является функцией широты, этим определяется закономерное уменьшение амплитуды распределения вулканических извержений от экватора к полюсам. Итогом соотношения прецессионного и вращательного движения Земли может и быть продольная стоячая волна, определяющая чередование зон растяжения (активности) и сжатия (покоя) в земной коре с затухающей к полюсам интенсивностью процессов. Длина стоячей волны в северном полушарии составляет около 20°, в южном – около 15° широты. Максимумы в северном полушарии приходятся на широтные зоны 15°–20°, 35°–40°, 55°–60°; в южном полушарии на зоны 20°–25°, 35°–40°, 50°–55°. Затухание составляет около 3-х извержений на 1° широты в северном полушарии и около 5° в южном (вероятно, за счёт океаничности полушария).

Анализ распределения вулканических извержений по долготе показывает существование дисимметрии вулканических извержений в отношении восточного и западного полушарий. Так, на восточное полушарие приходится 73,55 % всех извержений, а на западное – 26,45 % (в 2,78 раза меньше). Полученный характер пространственного распределения вулканических извержений в целом отражает основные особенности структурного плана литосферы, заключающиеся в разделении её на материковые и океанические полушария и широтно-зональном распределении материков и океанов [26].

**Сейсмическая активность.** Исследовалось пространственное распределение и хронологическая структура землетрясений с магнитудой 7 и более. В настоящее время механизм землетрясений в основном объясняется основанной на геологических и геодезических данных теорией упругой отдачи. В ней предполагается, что земная кора во многих местах медленно смещается под действием глубинных сил. Дифференцированные движения вызывают упругие деформации, которые достигают величин, близких к пределу сопротивления (прочности) пород. При этом возникает разрыв (скол), и деформированный блок породы мгновенно возвращается по нему под действием упругих напряжений в положение, при котором деформация частично или полностью снимается [7].

Деформация, медленно накапливающаяся в коре, создаёт запас упругой энергии, и в каком-то участке деформированной области (в фокальной точке землетрясения) происходит внезапная подвижка по образовавшемуся разрыву, которая распространяется затем во все стороны по поверхности разрыва в виде ряда различных дислокаций, обусловленных неодинаковой прочностью пород на пути их распространения. Это неравномерное продвижение дислокаций приводит к возникновению высокочастотных волн, проходящих через Землю и вызывающих сейсмические колебания, которые и производят разрушения на поверхности. В общем виде «Причины тектонических движений вызваны стремлением вещества земных оболочек к восстановлению равновесного состояния, непрерывно нарушаемого как внутренними факторами – разуплотнением и переходом части земного вещества в расплавленное состояние под влиянием накопленного тепла радиоактивного распада, так и внешними, космическими факторами – изменением скорости вращения Земли вследствие изменения вокруг земного гравитационного поля» [26, стр. 6].



Землетрясения располагаются на нашей планете неслучайным образом. Они связаны с ослабленными зонами земной коры и сосредоточены в двух основных сейсмических поясах. Основной, важнейший пояс – тихоокеанский. Он почти непрерывной полосой располагается вдоль всего побережья Тихого океана. У главного пояса несколько ответвлений, выходящих за пределы собственно Тихого океана: Карибская петля, петля Южно-Сандвичевых островов, ответвление Рюкю. В пределах Тихоокеанского пояса землетрясения особенно сильны и регулярны. В результате в пределах этого пояса выделяется более 90 % всей сейсмической энергии Земли [7, 18, 19, 20]. Второй по значению и интенсивности пояс – Средиземноморско-Азиатский (Альпийско-Гималайский). Его основная ветвь идёт от Азорских островов через Средиземное море, Турцию, Иран, Гималаи, Бирму, Индонезию к Новой Гвинее, где он смыкается с Тихоокеанским. Заметные ответвления от него отходят через Красное море в Африку, через Среднюю Азию к Алтаю, Байкалу и Забайкалью, от Ассама (штат в Индии) в Китай. Тихоокеанский пояс почти полностью соответствует структуре литосферных швов. Таким образом, эпицентры землетрясений распространены не на всей поверхности планеты, а концентрируются на ограниченных площадях, в пределах чётко выраженных зон или поясов, являющихся границами плит, или на участках континентов, окружённых такими зонами [18].

Области сейсмической активности Земли классифицируются по их характерным особенностям следующим образом [18]:

1. *Длинные узкие сейсмические пояса по периферии Тихого океана.* Сейсмический пояс, идущий от середины острова Хонсю к Идзу – Марианским островам, протягивается не вдоль окраин Тихого океана, а по морским пространствам, но он также относится к этой категории. В этих поясах мелкофокусные землетрясения происходят на тихоокеанской стороне; в сторону суши их глубина постепенно увеличивается, оконтуривая глубинные сейсмические плоскости (зоны Беньюффа). Возникновение этих землетрясений связано с непрерывным движением от срединных океанических хребтов в сторону континентов нескольких литосферных плит; плиты сталкиваются с континентами и пододвигаются под них. Западное побережье Северо-Американского континента характеризуется несколько меньшей активностью, причём очаги землетрясений рассеяны по всему материку. Это не типичный случай субдукции: здесь происходит трансформный разлом, вдоль которого плиты скользят в противоположных направлениях.

2. *Альпийско-Гималайский сейсмический пояс.* Этот второй крупнейший пояс идёт от Зондских островов (включая Яву и Суматру) через Бирму, Гималаи, Иран и далее через Турцию и Грецию в Италию. Если в районе Явы и Суматры он обладает практически теми же свойствами зоны субдукции, что и Тихоокеанское кольцо, то далее к западу степень активности несколько понижается, а ширина пояса сильно увеличивается, так что существует сомнение относительно того, можно ли считать данную область сейсмическим поясом. Особенность этого пояса состоит в том, что южная граница прослеживается чётко, а на северной стороне активность рассеяна по достаточно широкой площади.

3. *Сейсмические пояса, располагающиеся вдоль океанических хребтов.* Очевидно выделяются несколько пересекающих океаны линейных сейсмических зон; один из них протягивается вдоль Атлантического океана в Индийский океан. Они характеризуются ещё меньшей степенью активности, почти линейны и существенно ограничены по ширине. Землетрясения приурочены к океаническим хребтам, где происходит разрастание (спрединг) морского дна. В таких местах из недр Земли поднимается новая

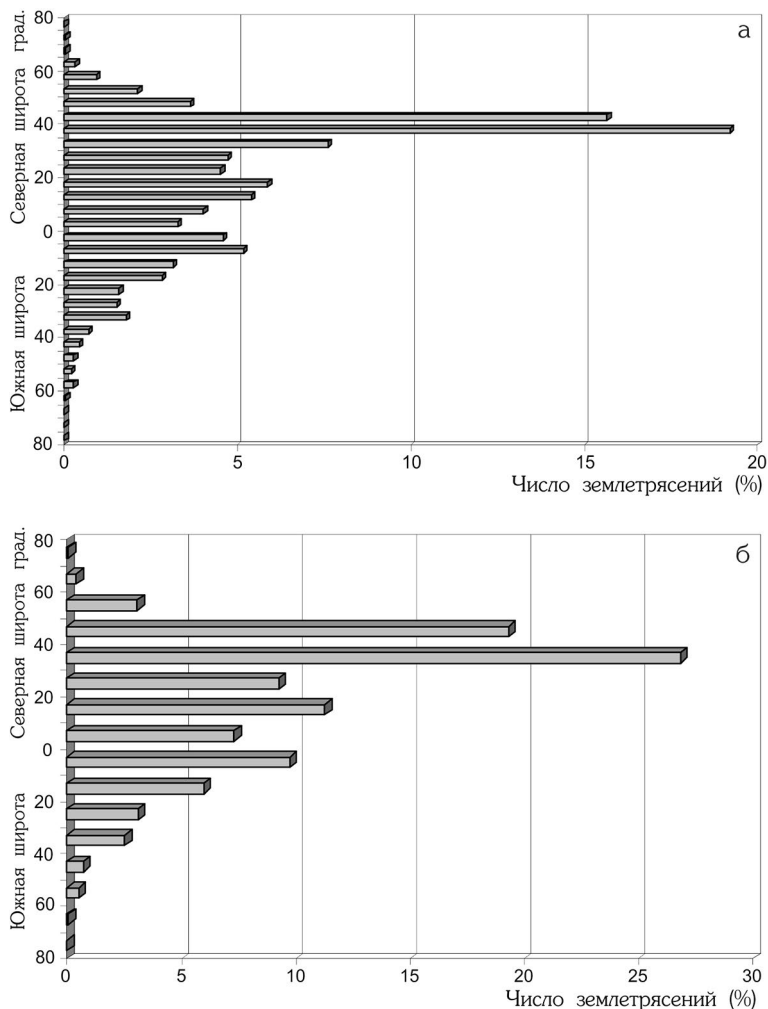
магма, которая раздвигает литосферные плиты, и в образующемся пространстве формируются и развиваются новые плиты [7, 18, 19].

4. *Внутриконтинентальные сейсмические зоны.* Значительная активность отмечается во внутренних районах Китая, то же самое относится к некоторым районам Северо-Американского континента и Африки.

Для анализа пространственного распределения землетрясений использовалась сейсмологическая база данных USGS/NEIC Significant Worldwide Earthquakes (2150B.C.–1994A.D.) за период с 1900 по 1994 гг. [27]. Всего было проанализировано распределение 1838 разрушительных и катастрофических землетрясений с магнитудой более 7,0, имеющих точные географические координаты и хронологические датировки. Сейсмические события распределялись по широтным и долготным географическим зонам протяжённостью в 5° и 10°. Все анализируемые сейсмические события локализованы в области, ограниченной с севера 65°, а с юга – 75° широты. Севернее и южнее этих параллелей, соответственно, землетрясения (с магнитудой равной и более 7) в прошлом столетии не отмечались. Для распределения по широтным зонам (рис. 2) в целом характерно общее уменьшение числа землетрясений от экватора к полюсам. Однако правильность симметричного относительно экватора распределения существенно нарушается чётким максимумом, выраженным в районе «критических» параллелей северного полушария – 35°–45° с. ш.

Распределение землетрясений тесно связано с распределением суши по широтным зонам [23, 24]. Коэффициент корреляции составляет 0,70. В распределении землетрясений по полушариям отмечается чёткая асимметрия. Так, для более континентального северного полушария (в нём 39 % площади приходится на сушу, в южном полушарии – 19 %) фиксируется 1423 землетрясения, или 77,67 % от общего количества за рассматриваемый период. Для более океанического южного полушария – 409, или 22,33 %. Таким образом, широтная симметрия (относительно земного экватора) в распределении землетрясений, связанная с вращением Земли, нарушается резким увеличением числа землетрясений в зоне 35°–45° с. ш., связанным с распределением площади суши (континентов) на Земле. Общий характер распределения землетрясений может отражать картину локализации деформационных напряжений в земной коре. Этот характер в основном определяется вращением Земли вокруг оси. Центробежная сила является функцией широты, и она может определять закономерное уменьшение частоты землетрясений от экватора к полюсам. Распределение континентальной коры, с которым в основном и связаны землетрясения, образует на отмеченном общем фоне распределения чётко выраженный максимум в зоне 35°–45° с. ш.

Влияние вращения Земли ранее отмечалось в распределении сейсмичности [11]. Устойчиво проявляющийся локальный максимум на 35° с. ш. имеет и связанное с приливными деформациями земного эллипсоида объяснение. Оно теоретически обосновано в работах Ф.Н. Красовского, В.А. Магницкого, М.В. Стоваса, Г.Н. Каттерфельда [8, 9, 14, 21]. Таким образом, характер распределения разрушительных и катастрофических землетрясений в основном определяется распределением центробежной силы вращения Земли и закономерным уменьшением деформационных напряжений в земной коре от экватора к полюсам, а также распределением континентальной земной коры. На фоне этого распределения выделяется зона (35°–45° с. ш.), где особенно активно проявляются напряжения, разрешение которых маркирует эту широтную зону земного эллипсоида как наиболее активную в сейсмическом отношении. На эту зону приходится и максимум в распределении земной коры континентального типа. Враще-



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

**Fig. 2.** The distribution of earthquakes in latitudinal zones (a – 10 degrees zones, b – 5 degrees zones).

щение Земли и изменение скорости её вращения в значительной степени определяют закономерную ориентировку земных деформаций и дислокаций, подтверждением чего является установление на Земле «критических» параллелей, а также определение ортогональной и диагональной систем планетарной трещиноватости. Известны представления о том, что ориентировка систем трещин, одинаковая для всех континентов, связана с ротационным режимом Земли, а системы разломов отражают особенности и структуру распределения напряжений в земной коре [1, 8, 21, 29]. Ротационный фактор, определяемый взаимодействием гравитационного поля Земли с гравитационными полями ближайших к ней небесных тел, прежде всего Луны и Солнца, является одним из факторов, определяющих форму и структуру Земли. Предполагается, что в литосфере гравитационные факторы проявляются через приливные силы [5, 23], регу-

лирующие скорость вращения Земли и определяющие локализацию и динамику связанных с этим деформаций земной коры, проявляющихся и в виде землетрясений.

В распределении землетрясений также отмечаются локальные максимумы для зон  $0^{\circ}$ – $10^{\circ}$  ю. ш. и  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  с. ш., характерные и для широтного распределения вулканических извержений (рис. 2). Отмеченное сходство указывает на существование общей причины, формирующей общие особенности в широтном распределении активности сейсмических и вулканических процессов на Земле. Этой причиной является центробежная сила (являющаяся функцией географической широты), возникающая при вращении Земли вокруг оси в переменном гравитационном поле.

Глубины эпицентров анализируемых землетрясений (табл.) сосредоточены в основном в слое А по схеме К.Э. Буллена [3] – 63,4 %. Эти данные подтверждают то, что около 85 % сейсмической энергии выделяется на глубинах до 70 км, а около 50 % – на глубинах до 40 км [7, 19]. Этим определяется существование максимума на широте  $35^{\circ}$ – $45^{\circ}$  с. ш. Землетрясения происходят в основном в континентальной коре. Максимум в распределении континентальной коры на Земле локализуется в отмеченной широтной зоне.

Широтное распределение вулканических извержений на планете регулируется центробежной силой, которая связана с вращением Земли вокруг оси. Следовательно, изменение скорости вращения или наклона оси вращения может проявляться в динамике вулканической активности Земли. Определено закономерное меридиональное распределение зон относительной активности и покоя, соответствующих областям

**Таблица.** Распределение эпицентров землетрясений по глубинам [3]

**Table 1.** The distribution of earthquake epicenters by depth. Column 1– depth of epicenter, km; column 2 – number of earthquakes; column 3 – percentage of earthquakes [3]

Глубина эпицентра, км	Количество землетрясений	Количество землетрясений, %
0–10	217	15,5
10–20	201	14,4
20–30	225	16,1
30–40	243	17,4
40–50	86	6,2
50–60	189	13,6
60–70	26	1,9
70–80	18	1,3
80–90	21	1,5
90–100	41	2,9
100–110	9	0,7
110–120	8	0,6
120–130	11	0,8
130–140	8	0,6
140–150	6	0,4
150–160	5	0,4
160–170	4	0,3
170–180	4	0,3
180–190	3	0,2
190–200	6	0,4
200 и более	64	4,6

растяжения и сжатия земной коры в результате вращения Земли в переменном гравитационном поле, которое определяется динамикой приливного и возмущающего действия Луны, Солнца и ближайших планет. В северном, более континентальном полушарии, вулканическая деятельность характеризуется большей активностью, чем в южном, менее континентальном полушарии.

Меридиональное распределение землетрясений также регулируется центробежной силой. Однако значимым фактором является распределение континентальной коры по широтам. Именно в ней происходит большинство землетрясений. На фоне закономерного, определяемого центробежной силой меридионального распределения в широтной зоне 35°–45° с. ш. отмечается абсолютный максимум землетрясений, связанный с максимумом континентальной земной коры, регистрируемым в этой зоне. В связи с этим в северном полушарии отмечается большее число землетрясений, чем в южном.

Работа выполнена в рамках ГЗ по теме АААА-А16-116032810055-0.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Апель П.* Фигуры равновесия вращающейся однородной жидкости. М.–Л.: ОНТИ, 1936. 375 с.
2. *Апродов В.А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
3. *Буллен К.Э.* Глубокие недра Земли / Сб. Планета Земля. М.: ИЛ, 1961. С. 3–18
4. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира (каталог). М.: Наука, 1979. 476 с.
5. *Дарвин Дж.* Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. М.: Наука, 1965. 252 с.
6. *Карпинский А.П.* О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов // Горный журнал. 1888. № 1. С. 7–18.
7. *Касахара К.* Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
8. *Каттерфельд Г.Н.* К проблеме образования морфологического лика планет типа Земли // Геогр. сб. Вып. XV. Астрогеология. М.–Л.: АН СССР, 1962. С. 104–131.
9. *Красовский Ф.Н.* Современные задачи и развитие градусных измерений // Изв. АН СССР. Сер. География и геофизика. 1941. № 3. С. 3–11.
10. *Кукал З.* Природные катастрофы. М.: Знание, 1985. 240 с.
11. *Левин Б.Ф., Чирков Е.Б.* Особенности широтного распределения сейсмичности и вращения Земли // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 65–69.
12. *Лейбензон Л.С.* Деформации упругой сферы в связи с вопросом о строении Земли. Собр. тр. Т. 4. М.: АН СССР, 1955. 248 с.
13. *Личков Б.Л.* Природные воды Земли и литосфера // Зап. ГО СССР. 1960. Т.19. Новая серия, 1. 163 с.
14. *Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 379 с.
15. *Мальшиев А.И., Малышева Л.К.* Вулканизм и проблемы марсианского рельефообразования // Вулканология и сейсмология. 2003. № 2. С. 27–40.
16. *Мархинин Е.К.* Вулканизм. М.: Недра, 1985. 288 с.
17. *Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
18. *Моги К.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
19. *Никонов А.А.* Землетрясения... (прошлое, современность, прогноз). М.: Знание, 1984. 192 с.
20. *Раст Х.* Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
21. *Стовас М.В.* Избранные труды. М.: Недра, 1975. 156 с.
22. *Тазиев Г.* Вулканы. М.: ИЛ, 1963. 116 с.
23. *Фёдоров В.М.* Гравитационные факторы и астрономическая хронология геосферных процессов. М.: МГУ, 2000. 368 с.
24. *Фёдоров В.М.* Особенности широтного распределения вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 39–43.
25. *Фёдоров В.М.* Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками её орбитального движения // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 65–67.
26. *Хаин В.Е.* Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 512 с.
27. *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)).

28. Schneider K. Die Vulkanische Erscheinungen der Erde. Berlin, 1911. 272 p.
29. Veronnet Al. Rotation de l'ellipsoïde heterogene et figure exacte de la Terre // J. de Mathematiques pures et appliquees. 1912. V.8. P. 331–463.

#### REFERENCES

1. Appel P. *Equilibrium figures of a rotating homogeneous fluid*. 375 p. (Moscow – Leningrad: ONTI, 1936) (in Russian).
2. Aprudov V.A. *Volcanoes*. 367 p. (Moscow: Mysl', 1982) (in Russian).
3. Bullen K.E. Deep bowels of the Earth. *Planet Earth*. P. 3–18 (Moscow: IL, 1961) (in Russian).
4. Gushchenko I.I. *Volcanic Eruptions of the world (catalog)*. 476 p. (Moscow: Nauka, 1979) (in Russian).
5. Darwin J. *Tides and related phenomena in the solar system*. 252 p. (Moscow: Nauka, 1965) (in Russian).
6. Karpinsky A.P. On the correctness of the shape, distribution and structure of the continents. *Gorny Zhurnal* [Mining J.]. 1888. 1, 7–18 (1888) (in Russian).
7. Kasahara K. *Mechanics of earthquakes*. 264 p. (Moscow: Mir, 1985) (in Russian).
8. Katterfeld G.N. On the problem of formation of the morphological face of the planets of the earth type. *Geograficheskij Sbornik*. XV. Astrogeology. P. 104–131 (Moscow – Leningrad: AN SSSR, 1962) (in Russian).
9. Krasovsky F.N. Modern problems and development of degree measurements. *Izvestija AN SSSR. Ser. Geography and Geophysics*. 3, 3–11 (1941) (in Russian).
10. Kukul Z. *Natural disasters*. 240 p. (Moscow: Znanie, 1985) (in Russian).
11. Levin B.F., Chirkov E.B. Features of the latitudinal distribution of seismicity and the rotation of the Earth. *Vulkanologiya i sejsmologija*. 6, 65–69 (1999) (in Russian).
12. Leibenzon L.S. *Deformations of the elastic sphere in connection with the question of the structure of the Earth*. Selected works. V. 4. 248 p. (Moscow: AN SSSR, 1955) (in Russian).
13. Lichkov B.L. *Natural waters of the Earth and lithosphere*. *Zapiski GO SSSR*. V. 19 (New series, 1). 163 p. (1960) (in Russian).
14. Magnitsky V.A. *Internal structure and physics of the Earth*. 379 p. (Moscow: Nedra, 1965) (in Russian).
15. Malyshev A.I., Malysheva L.K. Volcanism and problems of Martian relief formation. *Vulkanologiya i sejsmologija*. 2, 27–40 (2003) (in Russian).
16. Markhinin E.K. *Volcanism*. 288 p. (Moscow: Nedra, 1985). (in Russian).
17. Melekestsev I.V. *Volcanism and relief formation*. 212 p. (Moscow: Nauka, 1980) (in Russian).
18. Mogi K. *Prediction of earthquakes*. 382 p. (Moscow: Mir, 1988) (in Russian).
19. Nikonov A.A. *Earthquakes ... (past, present, forecast)*. 192 p. (Moscow: Mysl', 1984) (in Russian).
20. Rast X. *Volcanoes and volcanism*. 344 p. (Moscow: Mir, 1982) (in Russian).
21. Stovas M.V. *Selected works*. 156 p. (Moscow: Nedra, 1975) (in Russian).
22. Taziev G. *Volcanoes*. 116 p. (Moscow: IL, 1963) (in Russian).
23. Fedorov V.M. *Gravitational factors and astronomical chronology of Geosphere processes*. 368 p. (Moscow: MSU, 2000) (in Russian).
24. Fedorov V.M. Features of the latitudinal distribution of volcanic eruptions. *Vulkanologiya i sejsmologija*. 4, 39–43 (2002) (in Russian).
25. Fedorov V.M. Comparison of the chronology of the Earth's volcanic activity with the characteristics of its orbital motion. *Vulkanologiya i sejsmologija*. 5, 65–67 (2001) (in Russian).
26. Khain V.E. *General geotectonics*. 512 p. (Moscow: Nedra, 1973) (in Russian).
27. *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)).
28. Schneider K. *Die Vulkanische Erscheinungen der Erde*. 272 p. (Berlin, 1911).
29. Veronnet Al. Rotation de l'ellipsoïde heterogene et figure exacte de la Terre. *J. de Mathematiques pures et appliquees*. 8, 331–463 (1912).