

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ ЗЕМЛИ ПО ФАЗАМ 11-ЛЕТНЕГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

FEATURES OF DISTRIBUTION OF SEISMIC ACTIVITY IN DIFFERENT REGIONS OF EARTH OVER PHASES OF THE 11-YEAR SOLAR CYCLE

В.В. Ружич

*Институт земной коры СО РАН,
Иркутск, Россия, ruzhich@crust.irk.ru*

Е.А. Левина

*Институт земной коры СО РАН,
Иркутск, Россия, levina@crust.irk.ru*

V.V. Ruzhich

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS,
Irkutsk, Russia, ruzhich@crust.irk.ru*

E.A. Levina

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS,
Irkutsk, Russia, levina@crust.irk.ru*

Аннотация. Обсуждается связь солнечной активности с сейсмичностью Земли и причины расхождений в результатах исследований разных авторов. С использованием метода наложения эпох анализируются различия в распределении сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла для всей планеты, полушарий, секторов, широтных поясов и отдельных регионов. Показано, что главный вклад в планетарное распределение сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла вносит северо-восточный сектор Земли. Выявлена закономерность в распределении сейсмической активности по широтным поясам: главные максимумы сейсмической активности с увеличением широты приходятся на все более поздние фазы солнечного цикла в обоих полушариях. Для отдельных регионов результаты могут отличаться от результатов для Земли в целом из-за влияния местных геодинамических условий при деструкции земной коры. В средних широтах наблюдается смещение максимума количества землетрясений на более поздние фазы солнечного цикла в направлении с запада на восток, чего не обнаружено для северных регионов. Обсуждаются возможные причины разнообразных проявлений солнечно-земных связей для разных регионов с учетом различий в их строении и режимах геодинамического развития. Наличие ярко выраженных максимумов распределения сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла позволяет их использовать для уточнения параметра «время» при среднесрочном прогнозе опасных землетрясений.

Ключевые слова: периодичность в сейсмическом режиме, солнечная активность, дрейф ядра Земли, асимметрия полушарий, солнечно-земные связи, геодинамика, факторы внеземных воздействий, среднесрочный прогноз землетрясений.

Abstract. We discuss the relationship of solar activity with the seismicity of Earth and reasons for the differences in the results of studies of various authors. Using the epoch superposition method, we analyze the differences in seismic activity distribution over phases of the 11-year solar cycle for the whole world, hemispheres, sectors, latitudinal belts, and individual regions. The northeastern sector of Earth has been shown to make the main contribution to the planetary distribution of seismic activity over phases of the 11-year solar cycle. We have revealed a pattern in the distribution of seismic activity over latitudinal belts: the solar cycle phases, at which the main maximum of seismic activity occurs, increase with increasing latitude in both hemispheres. For some regions, the results may differ from the generalized results for Earth due to the influence of local geodynamic conditions during the destruction of the earth's crust. In middle latitudes, the maximum number of earthquakes is shifted to the later phases of the solar cycle from west to east, which was not found for the northern regions. We discuss possible reasons for various manifestations of solar-terrestrial relationships for different regions, taking into account their different structure and geodynamic development modes. The presence of pronounced maxima of the seismic activity distribution over the 11-year solar cycle phases allows us to use them for refining the “time” parameter in the medium-term prediction of dangerous earthquakes.

Keywords: periodicity in seismic mode, solar activity, drift of Earth's core, asymmetry of the hemispheres, solar-terrestrial relations, geodynamics, factors of extra-terrestrial effects, medium-term earthquake prediction.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия активно изучается вопрос о возможной связи между сейсмичностью Земли и 11-летним циклом солнечной активности

[Любушин и др., 1998; Левин, 2006; Sidorenkov, 2009; Тяпкин, 2012]. Периодичности в сейсмическом режиме Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) отмечены многими исследователями, и выделено несколько гар-

моник, в том числе 11-летняя [Любушин и др., 1998; Дядьков, 2002; Левин, 2006; Левина, Ружич, 2010, 2016; Levina, Ruzhich, 2015; Ruzhich et al., 2018]. Наиболее заметная 11-лет-няя периодичность в сейсмическом режиме различных регионов Земли часто объясняется влиянием изменений уровня солнечной активности. Однако существует мнение и об отсутствии такой связи [Чипизубов, 2018]. Нет единства и в вопросе распределения проявлений сейсмической активности по фазам солнечного цикла. Ниже рассматриваются причины возникновения подобных разногласий и возможная природа 11-летней периодичности. Известно, что длительность солнечного цикла варьирует от 7 до 13 лет и он несимметричен: восходящая ветвь (увеличение чисел Вольфа), как правило, короче нисходящей, в связи с чем выбор точки начала отсчета приобретает существенное значение. В данной работе показано различие в распределении сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла для всей планеты, полушарий, секторов, широтных поясов и отдельных регионов. Значительное внимание уделено анализу дополнительных сведений о космогенных факторах, влияющих на течение геодинамических процессов, в том числе на сейсмо-тектоническую деструкцию в земной коре.

МЕТОД РАСЧЕТОВ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Использован метод наложения эпох: для выяснения статистической связи двух процессов соответствующие ряды сначала сглаживаются с помощью одинакового временного окна, затем вычисляется, на какие фазы одного процесса приходятся максимальные значения параметров другого процесса, просуммированные по длительному промежутку времени. Для расчетов использовался каталог землетрясений за период наблюдений 1964–2018 гг. с магнитудой $M \geq 5.0$ [Northern California Earthquake Data Center, <https://ncedc.org/ncedc/catalog-search.html>] и каталог землетрясений в БРЗ, предоставленный Байкальским филиалом Геофизического центра СО РАН (г. Иркутск) [<http://www.seis-bykl.ru>]. В качестве характеристик сейсмической активности рассматривались ряды количества землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии. Для исключения влияния годичного цикла обращения Земли вокруг Солнца эти ряды были сглажены с помощью временного окна один год. Для характеристики солнечной активности использовались числа Вольфа за период с 1964 по 2018 г., также сглаженные окном один год. За начало цикла авторами принят момент минимума этого параметра. Рассмотренный период времени вмещает пять солнечных циклов разной длительности (12, 10, 10, 13, 11 лет). Средняя продолжительность солнечного цикла составила 11.2 года, поэтому сглаженный ряд чисел Вольфа был аппроксимирован 11-летней гармоникой и ее минимум считался началом очередного цикла солнечной активности. Далее для каждого землетрясения определялось, к какому году цикла оно принадлежит. Количество событий и их энергия для соответствующих годов суммировались по всем пяти циклам.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Распределение количества землетрясений и выделившейся сейсмической энергии по фазам 11-летнего цикла солнечной активности для всей Земли, Северного и Южного полушарий показано на рис. 1. Видно, что для всей Земли распределение выделившейся сейсмической энергии (рис. 1, б) имеет два максимума: в первый и седьмой годы солнечного цикла, а распределение количества землетрясений (рис. 1, а) — только один максимум, в седьмой год. Обращает на себя внимание, что графики для Северного полушария практически повторяют вид аналогичных графиков для всей Земли. Что касается Южного полушария, то здесь главное отличие состоит в том, что максимум выделившейся сейсмической энергии наступает примерно на год раньше.

Рассмотрим теперь распределение сейсмической активности по долготным полушариям (рис. 2). Конечно, деление на Восточное и Западное полушарие в значительной степени условно: в отличие от экватора, нулевой меридиан не имеет физического смысла и выбран случайно.

Можно видеть (рис. 2), что большее сходство с распределением сейсмической активности для всей Земли демонстрирует распределение для Восточного полушария. В Западном же полушарии главный максимум выделившейся сейсмической энергии наступает раньше — в четвертый год солнечного цикла.

Следующий уровень анализа — широтные и долготные пояса. Широтные пояса брались шириной 10° , а долготные — 15° . Для каждого пояса строились распределения количества землетрясений и выделившейся сейсмической энергии по фазам цикла солнечной активности. Затем по каждому графику определялась фаза солнечного цикла, на которую приходился главный максимум соответствующего параметра. Результат показан на рис. 3. Сам график (сплошная линия) имеет сложную форму, но линия тренда (штриховая линия), представленная полиномом второй степени, демонстрирует, что главный максимум наступает позже с увеличением широты как для количества землетрясений (а), так и для их суммарной энергии (б). Для долготных поясов никакой закономерности выявить не удалось.

Перейдем к рассмотрению отдельных регионов (рис. 4). Следует отметить, что выбранные для анализа сейсмического режима регионы кардинально отличаются друг от друга современными режимами сейсмо-тектонической деструкции литосферы. Графики для каждого региона (буквенные обозначения соответствуют рис. 4) приведены на рис. 5: на верхних шести графиках (а) показано распределение количества землетрясений, а нижних шести (б) — распределение выделившейся сейсмической энергии по фазам солнечного цикла. По вертикали в каждом блоке графики расположены в порядке изменения долгот соответствующих регионов с запада на восток.

Части Атлантического рифта (а), Гималайской зоны коллизии (б) и Японской зоны субдукции (с) расположены приблизительно в одном широтном диапазоне — от 20° до 50° северной широты. На рис. 5 видно, что главные максимумы количества землетрясений смещаются на более поздние фазы солнечного

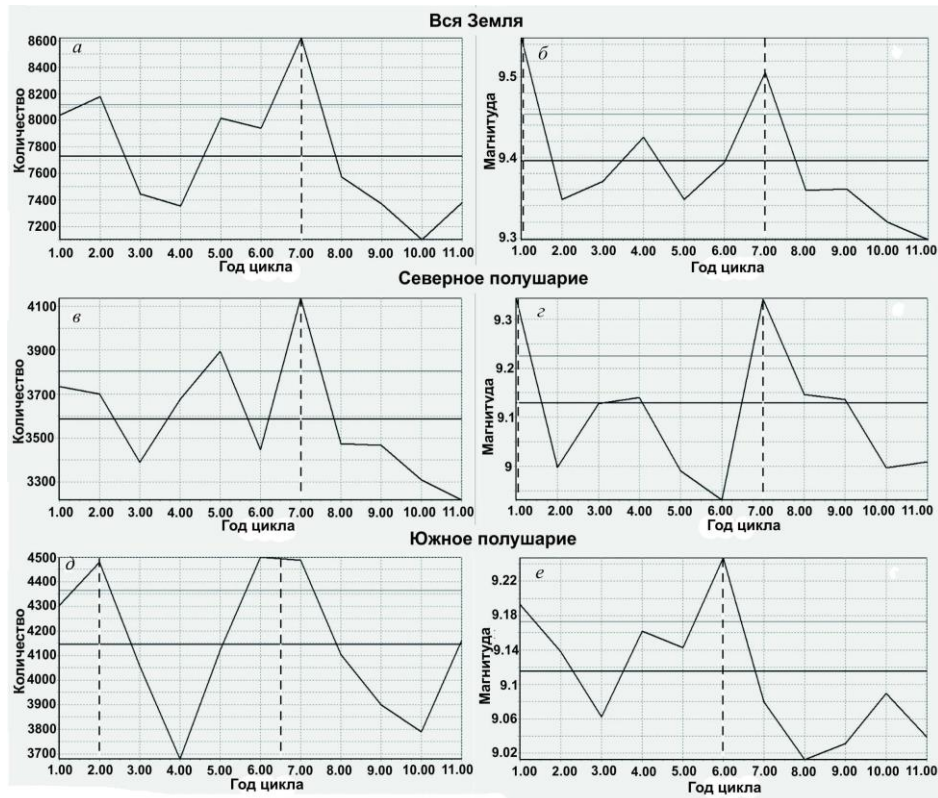


Рис. 1. Распределение количества землетрясений (а, в, д) и выделившейся сейсмической энергии (б, г, е) для всей Земли (а, б), Северного (в, г) и Южного (д, е) полушарий по фазам солнечного цикла. По оси абсцисс представлено время в годах 11-летнего солнечного цикла. Штриховыми линиями выделены главные максимумы. Горизонтальная линия — среднее значение соответствующего параметра

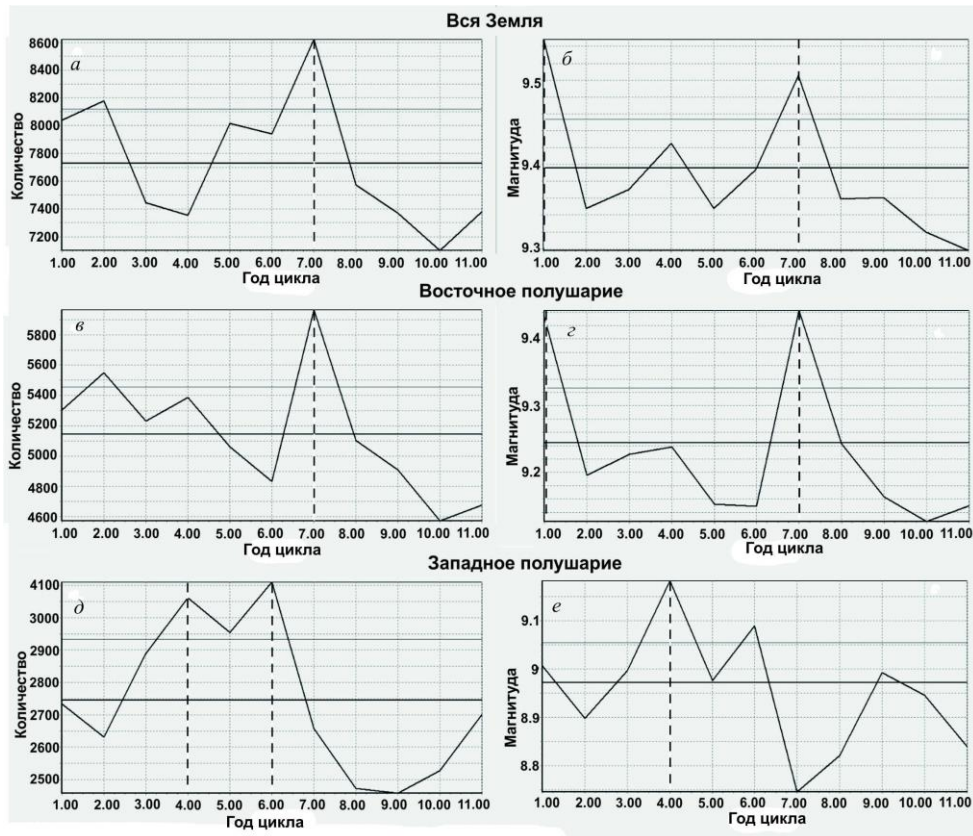


Рис. 2. Распределение количества землетрясений (а, в, д) и выделившейся сейсмической энергии (б, г, е) для всей Земли (а, б), Восточного (в, г) и Западного (д, е) полушарий по фазам солнечного цикла. По оси абсцисс представлено время в годах 11-летнего солнечного цикла. Штриховыми линиями выделены главные максимумы

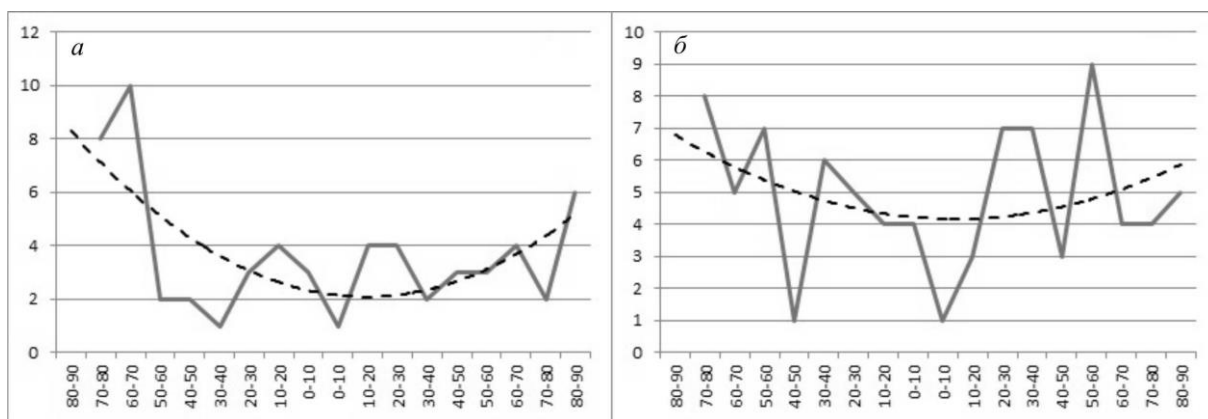


Рис. 3. Распределение главных максимумов количества землетрясений (а) и выделившейся сейсмической энергии (б) в широтных поясах Земли по фазам цикла солнечной активности (сплошная линия). Ось ординат — время в годах 11-летнего солнечного цикла; ось абсцисс — географические координаты широтных поясов, слева — Южное полушарие, справа — Северное. Штриховой линией показан тренд

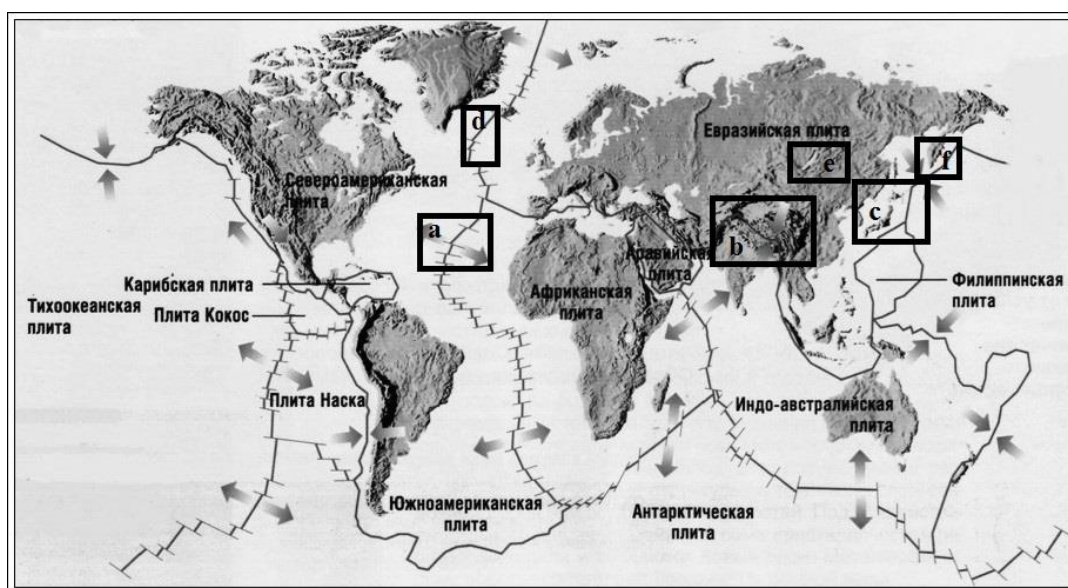


Рис. 4. Расположение рассмотренных регионов (выделены прямоугольниками): части Атлантического рифта (а), Гималайской зоны коллизии (б) и Японской зоны субдукции (с); северная часть Атлантического рифта (д), БРЗ (е) и Камчатская часть зоны субдукции (ф)

цикла в направлении с запада на восток. Для рядов суммарной энергии эта закономерность прослеживается лишь частично. Три других рассмотренных региона: северная часть Атлантического рифта (d), БРЗ (e) и Камчатская часть зоны субдукции (f) — также имеют близкое широтное расположение — от 48° до 65° северной широты. Для них не обнаружено закономерности в смещении главных максимумов в долготном направлении для рядов количества землетрясений. При этом можно отметить сходство между двумя группами регионов в распределении суммарной сейсмической энергии: главные максимумы этого параметра наступают в более ранние фазы солнечного цикла для регионов, занимающих среднее положение по долготе (b, e).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

При анализе полученных результатов видно, что для всех рассмотренных территорий выявлены фазы

солнечного цикла, на которые приходятся максимумы количества землетрясений или суммарной выделившейся сейсмической энергии. Однако выявленные таким способом фазы различаются для земного шара (седьмой год солнечного цикла) и отдельных полушарий. При этом результаты сейсмической диссипации в литосфере Северного и Восточного полушарий практически совпадают с полученными для Земли в целом, тогда как в Южном и Западном полушариях максимумы сейсмической активности проявляются на более ранней фазе солнечного цикла. Отсюда можно сделать вывод, что планетарное распределение современной сейсмотектонической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла во многом определяется северо-восточным сектором Земли. Выявленная асимметрия полушарий проявляется не только в распределении сейсмической активности по фазам солнечного цикла, но и в распределении областей землетрясений по поверхности Земли. В табл. 1 представлено распределение количества землетрясений с $M \geq 5$ по полушариям Земли.

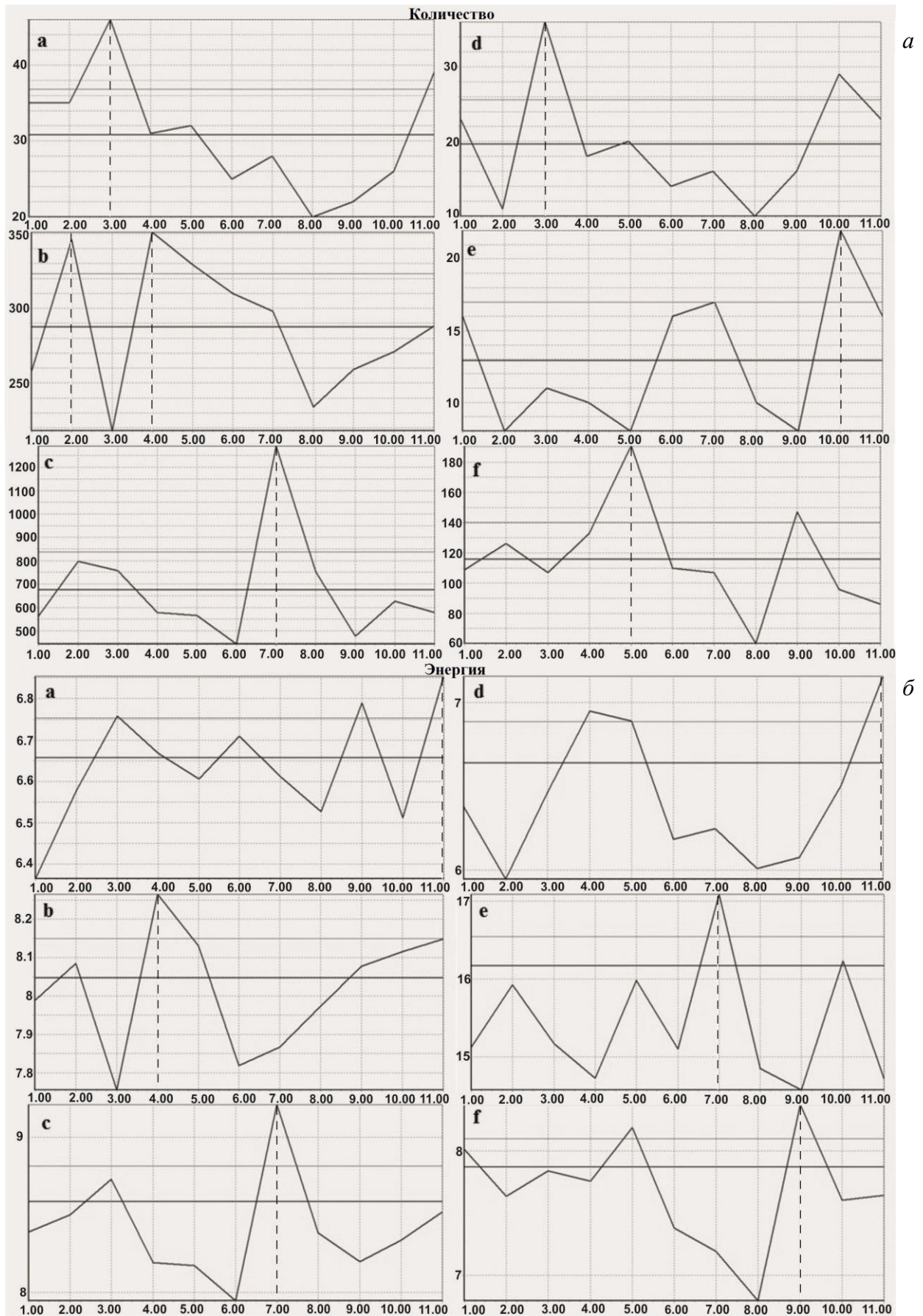


Рис. 5. Распределение количества землетрясений (а) и выделившейся сейсмической энергии (б) для регионов, обозначенных соответствующими буквами на рис. 4. Оси абсцисс — время в годах 11-летнего солнечного цикла; оси ординат: а — количество событий; б — магнитуда, кроме е, где показаны классы (БРЗ)

Таблица 1

Распределение количества сильных землетрясений с $M \geq 5$ по полушариям Земли

Регион	$M \geq 5$	
	Количество	%
Вся Земля	85016	100
Северное полушарие	39444	46
Южное полушарие	45583	55
Восточное полушарие	56595	67
Западное полушарие	30194	36

Видно, что 46 % землетрясений с $M \geq 5$ происходят в Северном полушарии и 55 % — в Южном, а вклад Восточного полушария составляет 67 % против 36 % для Западного полушария.

Распределение количества землетрясений по секторам Земли иллюстрирует гистограмма на рис. 6. Видно, что вклад северо-восточного сектора в количество землетрясений с $M \geq 5$ оказывается наибольшим. Различия в режимах сейсмической активности по полушариям и секторам с позиций геодинамики могут быть опосредованно связаны с мантийными течениями, которые, в свою очередь, инициируются дрейфом ядра Земли от ее геометрического центра к северо-восточному сектору планеты [Баркин, 2009; Гончаров и др., 2014].

Статистически выявлена особенность в распределении сейсмической активности по широтным поясам: главные максимумы сейсмической активности с увеличением широты приходятся на все более поздние фазы солнечного цикла в обоих полушариях. Закономерности в распределении сейсмической активности по долготным поясам не обнаружено.

Результаты расчетов, проведенных для отдельных регионов, могут отличаться от результатов, полученных для отдельных полушарий и Земли в целом. Для регионов, расположенных в средних широтах, наблюдается смещение максимума количества землетрясений на более поздние фазы солнечного цикла в направлении с запада на восток, но такой закономерности не обнаружено для северных регионов с широтой $> 50^\circ$.

Различия в распределении сейсмической активности по широтным поясам проявляются не только в ее распределении по фазам солнечного цикла, но и в расположении эпицентров землетрясений на земной поверхности. На рис. 7 видно, что максимальное количество сильных землетрясений с $M \geq 5$ происходит в приэкваториальной области, а также имеется локальный максимум на широтах $30^\circ - 50^\circ$ в Северном полушарии, где располагается Альпийско-Гималайская зона межплитной коллизии.

Для оценки влияния космогенных факторов на земные процессы чаще всего рассматривают солнечную активность, поскольку этот фактор легко представляется в числовом виде как ряд чисел Вольфа. Тем не менее до сих пор нет четкого понимания природы такого влияния. Одна из гипотез состоит в том, что корреляция солнечной активности с сейсмической активностью Земли может объ-

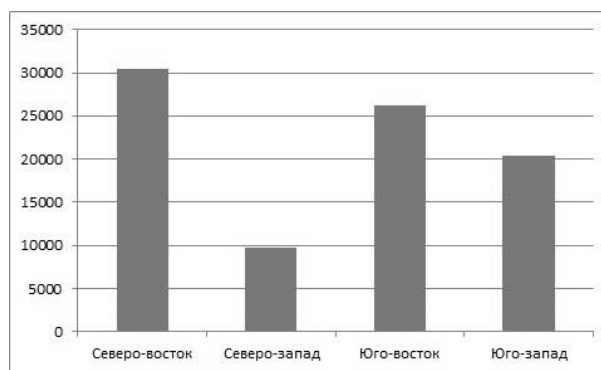


Рис. 6. Распределение количества землетрясений с $M \geq 5$ по секторам Земли

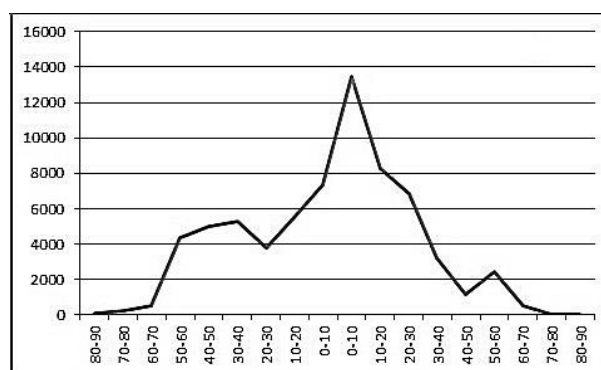


Рис. 7. Распределение количества землетрясений по широтным поясам Земли. Слева на оси абсцисс указаны широты Северного полушария, а справа — Южного

ясняться влиянием на оба этих процесса одного и того же фактора. В работе [Авсюк, 1996] показано, что изменение полной приливной силы, действующей на Солнце (в системе Солнце – Юпитер – Сатурн), соответствует изменению солнечной активности, рассмотренной за период с 1800 по 1980 г. Под полной приливной силой здесь понимается возмущающее действие, вызванное вращением Солнца вокруг барицентра Солнечной системы. Упомянутые космогенные факторы, возможно, способны инициировать сходные по длительности короткопериодные вариации в сейсмическом режиме Земли.

Авторы вполне осознают, что слишком короткие ряды сейсмических данных, использованные при расчетах, не исключают появления случайных совпадений или, напротив, пропусков реальных видов влияния внеземных факторов на сеймотектонические деформации. С позиций планетарной геофизики было показано, что солнечная активность вносит лишь доленой вклад в формирование солнечно-земных связей [Наговицин, 2012; Smolkov, 2018]. Отметим, что геодинамические последствия внеземных воздействий эффективно проявляются в виде откликов лишь для тех участков нашей планеты, где в зонах межплитных и внутриплитных разломов возникло неустойчивое геомеханическое равновесие. Несмотря на квазирегулярность внеземных воздействий, в разломах далеко не всегда возникают инициируемые триггерным механизмом значимые сейсмические события, поэтому их выявление становится более надежным при анализе статистиче-

скими методами достаточно длинных рядов данных. При подобных расчетах следует учитывать также возможные задержки откликов геомеханических систем на вземные динамические воздействия, что усложняет их выявление [Ружич, 1997].

С позиций геодинамики полезно сопоставить энергии гравитационного и теплового полей. В табл. 2 приведены сведения об энергетическом балансе Земли и мощности различных геодинамических процессов [Баркин, 2013]. Можно видеть, что их суммарная мощность лишь немногим больше мощности вулканических процессов, но на три порядка меньше мощности тепловой конвекции и на четыре-пять порядков меньше мощности диссипации как энергии мантийных процессов, так и суммарной выделяемой энергии колебательных движений ядра Земли и вязко-упругих деформаций в мантии. Из-за недостаточности знаний еще очень сложно оценивать энергию собственного гравитационного поля Земли и энергии гравитационного воздействия со стороны Солнца и планет Солнечной системы.

В сфере наук о Земле нередко встречаются ошибочные представления, занижающие энергетический вклад гравитационного поля нашей планеты и тем более Солнечной системы в геодинамику по сравнению с вкладом теплового поля Земли. При этом геологами не учитываются фрикционные процессы, возникающие при проскальзывании между геосферами, приводящие к плавлению огромных объемов горных пород, возникновению магматических очагов, мантийных течений и каналов проникновения облегченных при гравитационной дифференциации огромных масс расплавов мантийного вещества в виде плюмов к подошве литосферы [Stothers, 1993; Бакиров, 2007; Добрецов, Туркина, 2015]. За пределами внимания обычно остается огромная по уровню энергетика воздействий на Землю гравитационного поля самого Солнца и планет Солнечной системы [Смольков, Баркин, 2014].

Для многих специалистов остаются непонятными причины, механизмы и последствия вземных воздействий на форму геоида (рис. 8), в том числе причины и особенности дрейфа внутреннего ядра, проявления конвективных течений в мантии, всплытия суперплюмов, разрушения литосферной оболочки, а также изменения траекторий дрейфа литосферных плит и межплитных взаимодействий. На рис. 8 показан выявленный дрейф центра масс Земли в северо-восточный сектор. Сам факт подобного перемещения ядра был выявлен на основе данных системы DORIS [Zotov et al., 2009]. Многие процессы в геодинамике могут рассматриваться как следствия фундаментального явления — ускоренных перемещений центра масс ядра относительно центра масс мантии.

Геодинамические последствия многовекового дрейфа центра масс Земли в ее северо-восточный сектор проявились в изменениях формы геоида. В районе Южного полюса возникла вогнутость, а в районе Северного — выпуклость. Согласно представлениям, изложенным в работе [Гончаров и др., 2014], при дрейфе ядра Земли в указанном направлении возникло субмеридиональное течение в мантии

и сжатие земной коры с вектором, направленным к северо-востоку, распространившееся на обширной территории Земли. С геологических позиций наблюдаемую форму Земли можно рассматривать как наг-

Таблица 2

Энергетический баланс Земли и мощность геодинамических процессов

Мощность сейсмических событий	$3 \cdot 10^{10}$ Вт
Мощность вулканических событий	10^{10} Вт
Мощность тепловой конвекции	10^{13} Вт
Тепловой поток	$(4.4-4.8) \cdot 10^{13}$ Вт
Приливы	$4 \cdot 10^{11}$ Вт
Мощность диссипации из-за колебаний ядра и вязко-упругих деформаций мантии	$3.38 \cdot 10^{14}$ Вт
Полная мощность диссипации энергии в мантии Земли	$10^{14}-10^{15}$ Вт

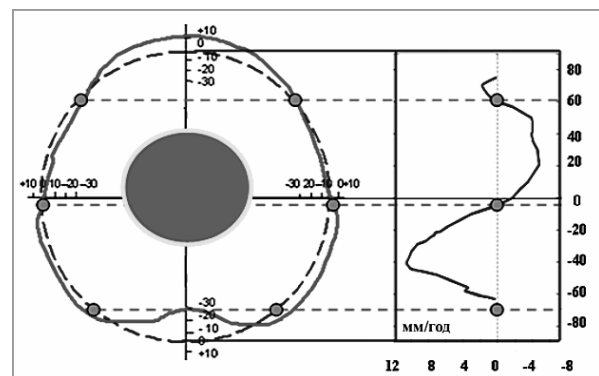
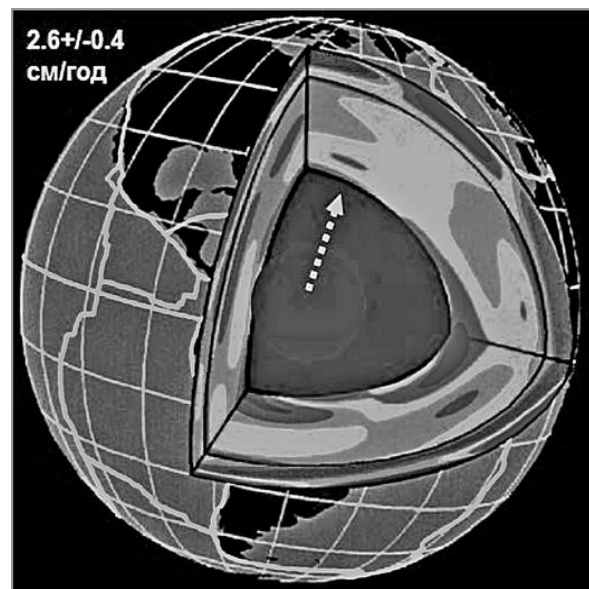


Рис. 8. Оболочки Земли (вверху), стрелкой указано направление (на северо-восток) дрейфа центра масс Земли, выявленное за временной интервал 1993–2007 гг. [Zotov et al., 2009]; скорость дрейфа приведена в верхнем левом углу. Форма геоида и ее изменения (внизу), наблюдаемые в современную эпоху согласно [Баркин, 2002; Хаин, Халилов, 2009]

лядное свидетельство деформационных процессов в верхней оболочке планеты, инициируемых скачкообразными смещениями ее ядра и мантийными возмущениями. В качестве еще одного примера, подтверждающего важную роль сжатия земной коры в геодинамике, можно указать на широкое распространение надвигов и взбросо-сдвигов субширотного простирания в Восточно-Сибирском регионе, включая территорию Байкальского рифта. Согласно оценкам возраста разорванных надвигами миоцено-четвертичных базальтовых даек, горизонтальное сжатие земной коры в северо-восточном направлении происходило в период ортогонального рифтогенного растяжения земной коры относительного оси сжатия [Ружич и др., 1972; Ружич, 1997]. В рамках изучения солнечно-земных связей именно с позиций дрейфа ядра и возникшей при этом субмеридиональной конвекции в мантии можно найти логичное объяснение других геодинамических процессов, проявляющихся в тектонике плит.

Согласно имеющимся геологическим сведениям, например [Летников, 2001; Родкин, Рундквист, 2017], дополнительным и еще малоизвестным фактором, действующим в рамках солнечно-земных связей и влияющим на многие земные физико-химические процессы, может быть процесс термогравитации планетарного масштаба, что проявляется в виде высокоскоростного переноса огромной массы минерального вещества от внешней границы ядра Земли в верхние слои мантии и в литосферу газонасыщенными облегченными флюидами. Быстрое по геологическим меркам импульсное продвижение флюидов закономерно стимулирует вязкопластические деформационные процессы в литосфере и эпизодическое ускоренное снижение сдвигового сопротивления в зонах разломов. При подобном механизме становится возможным возникновение состояния фрикционной неустойчивости в сегментах зон разломов, что, наряду с деформационными волнами, в том числе приливными, способствует квазипериодической активизации сейсмических процессов по триггерному типу [Левина, Ружич, 2010]. Взаимодействие гравитационного поля с тепловым полем Земли непрерывно проявляется через активность эндогенных процессов, таких как дрейф центра масс, физико-химические преобразования горных пород, конвективные течения в мантии, магматизм, всплывание плюмов, и через периодичности в явлениях сейсмо-тектонической деструкции, включая 11-летнюю.

Значителен также вклад в эндогенные процессы кинетической энергии, связанный с влиянием вариаций ротационного и орбитального вращения Земли [Бакиров, 2007; Song, Richards, 1996; Raman, 2011]. Несомненно, такая энергия оказывает влияние на режимы высвобождения упругой сейсмической энергии при деформировании и деструкции литосферной оболочки. В работе [Левин, Сасорова, 2012] отмечается статистически значимое сходство глобальных распределений сейсмических событий для Земли и Луны, у которой, в отличие от Земли, нет такого источника тепловой энергии, как горячее ядро.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано наличие статистически выраженных максимумов распределения сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла, выявленных методом наложения эпох. Неоднозначность полученных разными авторами результатов при изучении указанной периодичности в сейсмическом режиме Земли может быть объяснена сложными сочетаниями космогенных факторов, влияющих на геодинамику как планеты в целом, так и ее отдельных регионов.

2. Наличие явных максимумов в распределении сейсмической активности по фазам солнечного цикла позволяет выделить периоды времени, когда вероятность увеличения количества землетрясений или возникновения сильного землетрясения значительно повышается. На примере Байкальской рифтовой зоны подтверждена значимость этого фактора при среднесрочном прогнозе землетрясений [Ружич, 1997; Ruzhich et al., 2018].

3. Детальное исследование связи 11-летнего солнечного цикла и режима сейсмической активности, на взгляд авторов, не только позволяет выявить влияние внесезонных факторов на процессы, протекающие на нашей планете, но и дает возможность найти аргументированные объяснения многих явлений в геологии и геодинамике.

Работа выполнена в рамках базового проекта № 0346-2019-0007 «Тектонофизика современных геодинамических процессов в литосфере Центральной Азии как основа прогноза чрезвычайных ситуаций природного характера».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
- Бакиров А.Б. Главнейшие структуры Земли и источники энергии геодинамических процессов // Фундаментальные проблемы геотектоники: материалы XI тектонического совещания. Т. I. М.: ГЕОС, 2007. С. 43–45.
- Баркин Ю.В. Объяснение эндогенной активности планет и спутников и ее цикличности // Изв. секции наук о Земле Российской академии естественных наук. М.: ВИНТИ, 2002. Вып. 9. С. 45–97.
- Баркин Ю.В. Относительные смещения ядра и мантии Земли и их роль в сейсмическом процессе // Международная конференция «Геология: история, теория, практика», посвященная 250-летию Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (14–16 октября 2009 г.). М.: ГГМ РАН, 2009. С. 20–24.
- Баркин Ю.В. Синхронные скачки в процессах и явлениях на Земле, Луне и Солнце в 1997–1998 гг. и их единый механизм // Геология морей и океанов. Труды XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. М.: ГЕОС, 2013. С. 21–25.
- Гончаров М.А., Разницин Ю.Н., Баркин Ю.В. Северная компонента дрейфа континентов в фанерозое: структурные следствия и возможная причина // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455, № 5. С. 550–552. DOI: [10.7868/S0869565214110176](https://doi.org/10.7868/S0869565214110176).
- Добрецов Н.Л., Туркина О.М. Раннедокембрийская история Земли: роль плейст- и плюмо-тектоники и космического фактора // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 7. С. 1250–1274. DOI: [10.15372/GiG20150702](https://doi.org/10.15372/GiG20150702).
- Дядьков П.Г. Периодичности в изменениях сейсмического режима и напряжений в земной коре Байкальской

рифтовой зоны: связь с 11-летней цикличностью солнечной активности и сезонными изменениями уровня оз. Байкал // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. М.: Янус-К, 2002., С. 251–254.

Левин Б.В. О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли // Вестник ДВО РАН. 2006. № 1. С. 51–58.

Левин Б.В., Сасорова Е.В. Сейсмоструктура и земные приливы // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 80–87.

Левина Е.А., Ружич В.В. Миграция землетрясений как проявление волновых деформаций твердой оболочке Земли // Всероссийский семинар-совещание «Триггерные эффекты в геосистемах»: Материалы. М.: ГЕОС, 2010. С. 71–78.

Левина Е.А., Ружич В.В. Проявление одиннадцатилетней периодичности в сейсмомиграционных процессах рифтовых систем Земли // III Всероссийское совещание и II Всероссийская молодежная школа по современной геодинамике «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе»: Материалы. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2016. С. 269–272.

Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. 2001. Т. 43. № 4. С. 291–307.

Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В., Буддо В.Ю. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме // Вулканология и сейсмология. 1998, № 1. С. 62–76.

Наговицин Ю.А. Солнечная активность и солнечно-земные связи на различных временных шкалах // Всероссийская конференция «Солнечная активность и природа глобальных и региональных климатических изменений»: Тезисы докладов. Иркутск, 19–22 июня 2012 г. С. 20.

Родкин М.В., Рундквист Д.В. Геофлюидогеодинамика. Приложение к сейсмологии, тектонике, процессам рудо- и нефтегенеза. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2017. 288 с.

Ружич В.В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 144 с.

Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасевич С.И. Новые данные о надвигах в юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1972. Т. 205, № 4. С. 920–924.

Смольков Г.Я., Баркин Ю.В. К системному и междисциплинарному изучению солнечно-земных связей // Коллоквиум «Космические факторы эволюции биосферы и геосферы»: Труды. Москва, ГАИШ, 21–23 мая 2014 г. СПб.: Изд-во ВВМ, 2014. С. 162.

Тяпкин К.Ф. Изменение положения оси вращения в теле Земли: причина, механизм и использование для объяснения глобальных тектонических процессов в земной коре // Геофиз. журнал. 2012. Т. 34, № 6. С. 91–100.

Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.

Чипизубов А.В. К прогнозу изменений сейсмичности Земли по изменчивости солнечной деятельности и других геонимических процессов // XII Российско-Монгольская международная конференция «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона»: Тезисы докладов. Иркутск, 2–4 октября 2018 г. С. 25.

Levina E.A., Ruzhich V.V. The seismicity migration study based on space-time diagrams // Geodynamics and Tectonophysics. 2015. V. 6, iss. 2. P. 225–240. DOI: [10.5800/GT-2015-6-2-0178](https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-2-0178).

Northern California Earthquake Data Center. URL: <http://www.ncedc.org>. (дата обращения 20 мая 2019 г.).

Raman K. Space weather — Sun – Earth relations // Intern. J. Astron. Astrophys. 2011. № 1. С. 10–14. DOI: [10.4236/ijaa.2011.11003](https://doi.org/10.4236/ijaa.2011.11003).

Ruzhich V.V., Levina Ye.A., Ponomareva E.I. Availability and problems of the earthquake prediction (on an example of the Baikal rift) // Международная юбилейная научная конференция «Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений»: Тезисы докладов. Бишкек, Киргизская Республика, ИС РАН, 3–7 июля 2018 г.

Sidorenkov N.S. The Interaction Between Earth's Rotation and Geophysical Processes. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009. 305 p. DOI: [10.1002/9783527627721](https://doi.org/10.1002/9783527627721).

Smolkov G.Ya. The natural changes of solar-terrestrial relations // Adv. Res. Astrophys. 2018. V. 3, N 4. P. 205–217. DOI: [10.22606/adap.2018.34001](https://doi.org/10.22606/adap.2018.34001).

Song X., Richards P.G. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core // Nature. 1996. V. 382. P. 221–224. DOI: [10.1038/382221a0](https://doi.org/10.1038/382221a0).

Stothers R.B. Hot spot and Sun spot: surface of deep mantle convection in the Earth and Sun // Earth and Planetary Sci. Lett. 1993. V. 116. P. 62–69. DOI: [10.1016/0012-821X\(93\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(93)90041-7).

Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lubushin A.A. Geocenter motion and its geodynamical content // Space Geodynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes. Novosibirsk, 22–26 September, 2008. Novosibirsk: Academic Publ. House “Geo”, 2009. P. 98–101.

URL: <http://www.seis-bykl.ru> (дата обращения 20 мая 2019 г.).

REFERENCES

Avsyuk Yu.N. *Prilivnye sily i prirodnye protsessy* [Tidal Forces and Natural Processes]. Moscow, IPE RAS Publ., 1996, 188 p. (In Russian).

Bakirov A.B. The most important Earth's structures and sources of energy of geodynamic processes. *Fundamental'nye problemy geotektoniki: materialy coveshchaniya* [Proc. XL Tectonic Workshop “Fundamental Problems of Geotectonic”] Vol. 1. Moscow, GEOS Publ., 2007, pp. 43–45. (In Russian).

Barkin Yu.V. Interpretation of endogenous activity of planets and their satellites, and its cyclicity. *Trans. of Earth's Sci. Section of RANS*. Moscow, VINITI Publ., 2002, pp. 45–97. (In Russian).

Barkin Yu.V. Relative displacements of Earth's core and mantle, and their role in a seismic process. *Mezhdunarodnaya konferentsiya “Geologiya: istoriya, teoriya, praktika”* [International Conference “Geology: History, Theory, Practice”] Moscow, State Geological Museum Publ., 2009, pp. 20–24. (In Russian).

Barkin Yu.V. Synchronous jumps in processes and phenomena on Earth, Moon and Sun in 1997–1998, and their common mechanism. *Geologiya morei i okeanov: Trudy XX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (shkoly) po morskoi geologii* [Geology of Seas and Oceans. Proc. XX International Scientific Conference (School) on Sea Geology]. Vol. 5. Moscow, GEOS Publ., 2013, pp. 21–25. (In Russian).

Chipizubov A.V. On prediction of changes in Earth's seismicity from variability of solar activity and other geonomic processes. *XII Russian-Mongolian International Conference “Solar-Terrestrial Relations and Geodynamics of the Baikal-Mongolia Region”*: Abstracts. Irkutsk, October 2–4, 2018, p. 25. (In Russian).

Dobretsov N.L., Turkina O.M. Early Precambrian Earth history: the role of plate and plum tectonics and extraterrestrial controls. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophys.]. *Geology and Geophys.* 2015, vol. 56, no. 7, pp. 1250–1274. (In Russian). DOI: [10.15372/GiG20150702](https://doi.org/10.15372/GiG20150702).

Dyad'kov P.G. Periodicities in seismic regime and tension changes in Baikal Rift Zone crust: correlation with 11-year solar cyclicity and seasonal variations of Lake Baikal. *Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogennykh i sotsial'nykh protsessov* [Atlas of Time Variations in Natural, Anthropogenic and Social Processes]. Vol. 3. Moscow, Yanus-K Publ., 2002, pp. 251–254. (In Russian).

Goncharov M.A., Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V. Northern component in continental drift in Phanerozoic: structural consequences and possible origin. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Physics]. 2014, vol. 455, no. 5, pp. 550–552. (In Russian). DOI: [10.7868/S0869565214110176](https://doi.org/10.7868/S0869565214110176).

Khain V.E., Khalilov E.N. *Tsiklichnoe' geodinamicheskikh protsessov: ego vozmozhnaya priroda* [Cyclicity of Geodynamic Processes: its Possible Origin]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2009, 520 p. (In Russian).

Levin B.W. On the nature of some periodic changes in Earth's seismic regime. *Vestnik DVO RAN* [Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences]. 2006, no. 1, pp. 51–58. (In Russian).

Levin B.W., Satorova E.V. Seismotectonics and Earth tides. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2012, vol. 6, no. 1, pp. 70–77. DOI: [10.1134/S1819714012010095](https://doi.org/10.1134/S1819714012010095).

Levina E.A., Ruzhich V.V. Earthquake migration as a manifestation of wave deformations of the Earth's crust. *Vserossiiskii seminar-coveshchanie "Triggernye efekty v geosistemakh": trudy* [Proc. the Russian National Seminar-Meeting "Trigger Effects in Geosystems"]. Moscow, GEOS Publ., 2010, pp. 71–78. (In Russian).

Levina E.A., Ruzhich V.V. The seismicity migration study based on space-time diagrams. *Geodynamics and Tectonophysics*. 2015, vol. 6, iss. 2, pp. 225–240. DOI: [10.5800/GT-2015-6-2-0178](https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-2-0178).

Levina E.A., Ruzhich V.V. Manifestation of 11-year periodicity in seismomigration processes of Earth's rift systems. *Trudy III Vserossiiskogo coveshchaniya u II Vserossiiskoi molodezhnoi shkoly po sovremennoi geodinamike "Sovremennaya geodinamika Tsentral'noi Azii i opasnye prirodnye protsessy"* [Proc III Russian National Meeting and II Young Scientist's School on Present-Day Geodynamics "Present-Day Geodynamics of Central Asia and Hazardous Natural Processes: Results of Studies at Quantative Basis"]. Irkutsk, IEC SB RAS Publ., 2016, pp. 269–272. (In Russian).

Letnikov F.A. Super-deep fluid Earth's systems and ore-genesis problems. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits]. 2001, vol. 43, no. 4, pp. 291–307. (In Russian).

Lyubushin A.A., Pisarenko V.F., Ruzhich V.V., Buddo V.Yu. Extraction of periodicities in seismic regime. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology]. 1998, no. 1, pp. 62–76. (In Russian).

Nagovitsin Yu.A. Solar activity and solar-terrestrial relations at different time scales. *Vserossiiskaya konferentsiya "Solnechnaya aktivnost' i priroda global'nykh i regional'nykh klimaticheskikh izmenenii"* [Russian National Conference "Solar Activity and Nature of Global and Regional Changes"]. Abstracts. Irkutsk, June 19–22, 2012, p. 20. (In Russian).

Northern California Earthquake Data Center. URL: <http://www.ncedc.org>. (accessed May 20, 2019).

Raman K. Space weather — Sun Earth — relations. *Intern. J. Astron. Astrophys.* 2011, no. 1, pp. 10–14. DOI: [10.4236/ijaa.2011.11003](https://doi.org/10.4236/ijaa.2011.11003).

Rodkin M.V., Rundkvist D.V. *Geoflyuidogeodinamika. Prilozhenie k seismologii, tektonike, protsessam rudo- i neftegeneza* [Geofluid Geodynamics. Application to Seismology, Tectonics, and Processes of Ore and Oil Genesis]. Dolgoprudny, Intellekt Publ., 2017, 288 p. (In Russian).

Ruzhich V.V. *Seismotektonicheskaya destruktivnaya v zemnoi kore Baikal'skoi riftovoi zony* [Seismotectonic destruction in the Earth's crust of Baikal Rift Zone]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 1997, 144 p. (In Russian).

Ruzhich V.V., Sherman S.I., Tarasevich S.I. New data on overthrusts in south-western flank of Baikal Rift Zone. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Physics]. 1972, vol. 205, no. 4, pp. 920–924. (In Russian).

Ruzhich V.V., Levina Ye.A., Ponomareva E.I. Availability and problems of the earthquake prediction (on an example of the Baikal rift). *Mezhdunarodnaya yubileinaya nauchnaya konferentsiya "Vozdeistvie vneshnikh polei na seismicheskie rezhim i monitoring ikh proyavlenii"* [International anniversary scientific conference "Effect of external fields on seismic regime and monitoring of their manifestations]: Abstracts. Bishkek, Kirghizia, NS RAN, July 3–7, 2018.

Sidorenkov N.S. *The Interaction Between Earth's Rotation and Geophysical Processes*. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009, 305 p. DOI: [10.1002/9783527627721](https://doi.org/10.1002/9783527627721).

Smolkov G.Ya. The natural changes of solar-terrestrial relations. *Adv. Res. Astrophys.* 2018, vol. 3, no. 4, pp. 205–217. DOI: [10.22606/adap.2018.34001](https://doi.org/10.22606/adap.2018.34001).

Smolkov G.Ya., Barkin Yu.V. To the systemic and interdisciplinary research into solar-terrestrial relationships. *Kollokvium "Kosmicheskie faktory evolyutsii biosfery i geosfery: trudy* [Proc. Colloquium "Cosmic Factors of Biosphere and Geosphere Evolution"]. Moscow, May 21–23, 2014. S. Petersburg, VVM Publ., 2014, p. 162. (In Russian).

Song X., Richards P.G. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core. *Nature*. 1996, vol. 382, pp. 221–224. DOI: [10.1038/382221a0](https://doi.org/10.1038/382221a0).

Stothers R.B. Hot spot and Sun spot: surface of deep mantle convection in the Earth and Sun. *Earth and Planetary Sci. Lett.* 1993, vol. 116, pp. 62–69. DOI: [10.1016/0012-821X\(93\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(93)90041-7).

Tyapkin K.F. Change in rotation axis position in the Earth's body: origin, mechanism, and use for interpretation of global tectonic processes in the Earth's crust. *Geofizicheskii Zhurnal* [Geophys. J.]. 2012, vol. 34, no. 6, pp. 91–100. (In Russian).

Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lubushin A.A. Geocenter motion and its geodynamical content. *Space Geodynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes*. Novosibirsk, Russian Federation, 22–26 September, 2008. Novosibirsk, Academic Publ. House "Geo", 2009, pp. 98–101.

URL: <http://www.seis-bykl.ru> (accessed May 20, 2019).

Как цитировать эту статью

Ружич В.В., Левина Е.А. Особенности распределения сейсмической активности в разных регионах Земли по фазам 11-летнего солнечного цикла. *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 1. С. 116–125. DOI: [10.12737/szf-61202011](https://doi.org/10.12737/szf-61202011).