

УДК 528.2

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1-16-24

## ВЛИЯНИЕ РОТАЦИОННОГО ПОСТЭФФЕКТА НА РАЗРЯДКУ В КОРОВОМ СЛОЕ

*Сергей Владимирович Долин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (906)996-05-51, e-mail: Sergeydolin@mail.ru

*Вадим Федорович Канушин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-55, e-mail: v.f.kanushin@sgugit.ru

В работе выполнены эксперименты, целью которых являлась попытка установить корреляцию между постоянно изменяющимся ротационным режимом планеты и разрядкой в коровом слое. По смещениям временных шкал TAI, UTC и UT1, взятым с сайта международной службы вращения Земли (IERS), были вычислены среднегодовые и среднемесячные угловые скорости вращения за период с 1962 по 2018 г., а также был создан каталог землетрясений с 1962 по 2018 г. По составленному авторами алгоритму и написанной программе были найдены частные производные полного деформирующего потенциала и распределение количества землетрясений в год на один квадратный километр по поверхности Земли. Приведены результаты аналитического анализа и расчеты для дальнейшего исследования ротационного режима Земли и других планет.

**Ключевые слова:** WGS-84, угловая скорость, Земля, деформирующий потенциал, деформирующие силы, центробежные силы, критические параллели

### *Введение*

Вращение Земли вокруг своей оси не только определяет смену дня и ночи, но и оказывает существенное влияние на форму геоида и процессы, протекающие в ее теле, в том числе и в литосфере. На эти процессы оказывает влияние не столько сама скорость, сколько ее изменение. Постоянно изменяющийся ротационный режим планеты может являться одним из ключевых факторов, влияющих на разрядку в коровом слое планеты.

Из сейсмических наблюдений, проводимых в Советском Союзе и в мире, видно, что большинство землетрясений происходит на стыке литосферных плит. Их движение и сопряжение создают зоны субдукции или зоны спрединга, что скорее всего является одним из ключевых факторов образования напряжений в коровом слое планеты. В свою очередь изменяющийся ротационный режим создает непрерывную и неравномерную циркуляцию вещества в теле планеты, что может послужить катализатором к проявлению сейсмической активности [1–3].

Изменение скорости вращательного движения планеты под влиянием приливного трения вызывает изменение потенциала деформирующих сил, что в свою очередь порождает за геологическое время сопряженную деформацию планеты. Эти деформации при зональном распределении изменения поверхности в низких широтах приводят к нарушению целостности корового слоя.

Исходя из этих предположений была сформулирована цель исследования влияния ротационного постэффекта на разрядку в коровом слое – установить корреляцию между изменением угловой скорости вращения Земли, изменением частных производных, составляющих полный деформирующий потенциал, а также между количеством землетрясений на один квадратный километр в десятиградусных широтных зонах.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- подготовить и структурировать исходные данные за 56 лет [4];
- разработать алгоритм;
- разработать программное обеспечение для выполнения расчетов и анализа;

– поставить эксперимент и получить результаты.

### Теоретическая часть

*Вычисление угловой скорости вращения Земли.* Из разницы между земным и всемирным временем, значений смещения временных шкал  $UT1-UTC$  и  $TAI-UTC$  в секундах вычисляется угловая скорость вращения Земли по формулам [5]:

$$\Delta T = 32,184 \text{ с} + (TAI - UTC) - (UT1 - UTC); \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164 + \Delta T}. \quad (2)$$

*Вычисление сил, составляющих полный деформирующий потенциал.* Потенциал центробежной силы можно представить в следующем виде [5]:

$$Q = \frac{\omega^2}{2}(x^2 + y^2) = \frac{1}{3}\omega^2 r^2 + \frac{1}{6}\omega^2(x^2 + y^2 - 2z^2). \quad (3)$$

Второй член в правой части формулы (3) определяет сжатие эллипсоида и назван потенциалом деформирующих сил  $T_d$  [5]

$$T_d = \frac{1}{6}\omega^2(x^2 + y^2 - 2z^2). \quad (4)$$

Введя полярные координаты, получим уравнение [5]

$$T_d = \frac{\omega^2 a^2 (1 - \alpha)^2 [1 - 2 \text{tg}^2 \varphi]}{6[(1 - \alpha)^2 + \text{tg}^2 \varphi]}, \quad (5)$$

где  $a$  – большая полуось эллипсоида;

$\alpha$  – полярное сжатие эллипсоида вращения;

$\omega$  – угловая скорость вращения Земли;

$\varphi$  – геоцентрическая широта.

Из уравнения (5) следует, что деформирующий потенциал  $T_d$  принимает два экстремальных значения (при  $\varphi = 0^\circ$  – максимальное значение, при  $\varphi = 90^\circ$  – минимальное), а при  $\varphi = \pm 35^\circ$   $T_d = 0$ .

Вектор деформирующей силы определяется соотношением [5]

$$\vec{F}_d = \text{grad } T_d. \quad (6)$$

Тогда модуль полной деформирующей силы эллипсоида определяется уравнением [5]

$$F_d = \frac{\omega^2 a (1 - \alpha) \sqrt{1 + 4 \text{tg}^2 \varphi}}{3[(1 - \alpha)^2 + \text{tg}^2 \varphi]^{1/2}}. \quad (7)$$

Составляющие деформирующей силы  $F_d$  по нормали к эллипсоиду и касательной к меридиану можно вычислить по следующим формулам [5]:

$$F_k = F_d \cos \alpha_k; \quad (8)$$

$$F_n = F_d \sin \alpha_k, \quad (9)$$

где  $\alpha_k = 90^\circ - (\varphi + \beta)$  – между вектором полной деформирующей силы  $F_d$  и касательной к меридиану  $F_k$ .

Здесь  $\beta$  – угол между полной деформирующей силой  $F_d$  и деформирующей силой  $F_p$ , направленной по радиусу параллели. Этот угол вычисляется уравнением [5]

$$\text{tg } \beta = 2 \text{tg } \varphi. \quad (10)$$

Сжатие эллипсоида, большая и малая полуоси вычисляются с учетом изменения угловой скорости вращения из уравнений [6]:

$$\alpha_\omega = \frac{3}{2} J_2 + \frac{1}{2} q + \frac{9}{8} J_2^2 - \frac{11}{56} q^2 - \frac{3}{14} J_2 q; \quad (11)$$

$$d\alpha = \alpha - \alpha_\omega; \quad (12)$$

$$a_{year} = a + \left( \left( \frac{a}{3(1 - \alpha_\omega)} \right) d\alpha \right); \quad (13)$$

$$b_{year} = b + \left( \left( -\frac{2}{3} a_{year} \right) d\alpha \right), \quad (14)$$

где  $b$  – малая полуось эллипсоида WGS-84 [6, 7];

$J_2$  – динамический коэффициент;

$q$  – отношение центробежной силы к силе тяжести на экваторе.

Для определения разности главных моментов инерции  $(C - A)f$ , геометрических моментов инерции  $C_{geo}$ ,  $A_{geo}$  и динамического сжатия  $H_{geo}$  пользуемся формулами [6]:

$$(C - A)f = Mf \frac{a^2}{3} (2\alpha - \alpha^2) - \frac{\omega^2 a^5}{3} \left( 1 - \frac{9}{7}\alpha + \frac{25}{49}\alpha^2 \right); \quad (15)$$

$$C_{geo} = \frac{2}{3} Ma^2 \left( 1 - \frac{2}{5} \sqrt{\frac{5m}{2f}} - 1 \right); \quad (16)$$

$$A_{geo} = C_{geo} + \sqrt{5} Ma^2 C_{2,0}; \quad (17)$$

$$H_{geo} = \frac{C_{geo} - A_{geo}}{C_{geo}}, \quad (18)$$

где  $f$  – постоянная тяготения;

$M$  – масса эллипсоида.

Динамические моменты инерции  $A_{dyn}$ ,  $B_{dyn}$ ,  $C_{dyn}$  вычисляются по формулам [6]:

$$C_{dyn} = -\sqrt{5} Ma^2 \left( \frac{C_{2,0}^{dyn}}{H} \right); \quad (19)$$

$$A_{dyn} = \sqrt{5} Ma^2 \left( \left( 1 - \frac{1}{H} \right) C_{2,0}^{dyn} - \frac{C_{2,2}^{dyn}}{\sqrt{3}} \right); \quad (20)$$

$$B_{dyn} = \sqrt{5} Ma^2 \left( \left( 1 - \frac{1}{H} \right) C_{2,0}^{dyn} + \frac{C_{2,2}^{dyn}}{\sqrt{3}} \right). \quad (21)$$

Для вычисления отношения количества землетрясений на десятиградусных широтных полосах необходимо вычислить площадь трапеции, которая определяется по формуле [6]

$$S = b^2 (L_2 - L_1) \int_{B_1}^{B_2} (1 - e^2 \sin^2 B)^{-2} \cos B dB. \quad (22)$$

После чего находится отношение количества землетрясений на площадь зоны

$$E_Q = Q / S^{\text{зоны}}. \quad (23)$$

### Алгоритм программы

Программа написана С. В. Долиным, обучающимся 4-го курса по специальности «Геодезия и дистанционное зондирование», на языке C# в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio Community 2019 [8]. Имя файла программы – IntegralZoneSeismic.exe [9].

Объем занимаемой памяти – 27 Кбайт.

Все вычисления производятся с двойной точностью (тип Double), на печать выводятся все значения, округленные до 16-го знака после запятой. Программа имеет пользовательский графический интерфейс, изображенный на рис. 1.

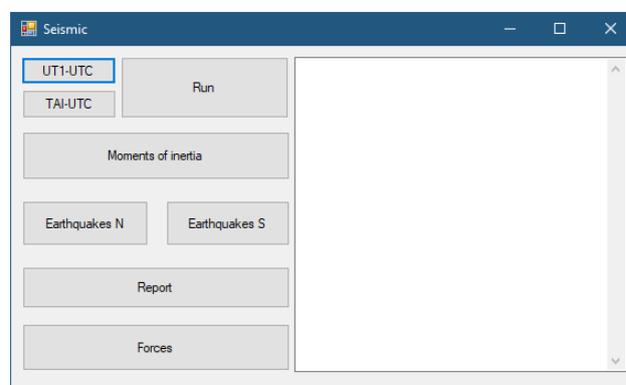


Рис. 1. Графический интерфейс программы

Интерфейс программы представлен набором функций для выполнения расчетов, представленных в работе:

– UT1–UTC – выполняет загрузку массива данных о смещении шкал всемирного времени и всемирного координатного времени;

– TAI–UTC – выполняет загрузку массива данных о смещении шкал международного атомного времени и всемирного координатного времени;

– Run – запускает алгоритм расчета угловых скоростей, основных параметров обще-земного эллипсоида WGS-84 (с учетом изменяющейся угловой скорости) и моментов инерции;

– Moments of inertia – выводит полученные из расчетов значения моментов инерции;

– Earthquakes N (S) – выполняет загрузку массива данных со значениями широт, на которых происходили землетрясения, и выпол-

няет расчеты количества землетрясений на широтную полосу в 10 градусов;

– Report – создает отчет в виде документа Microsoft Word с результатами вычислений и анализом выполненных расчетов;

– Forces – выводит значения частных производных полного деформирующего потенциала от экватора и до полюса, с шагом в 10 градусов.

### Анализ данных

Для проведения эксперимента были выбраны временные отрезки в 5 лет, так как разрядка в коровом слое планеты происходит не систематически и сопровождается большим объемом влияющих на нее факторов.

За начало отсчета был выбран 1962 г., именно в то время началось явное введение поправки часов TAI–UT1 [10–12], что позволило более точно вычислять смещение времени и угловую скорость вращения Земли.

После определения количества землетрясений на широтных десятиградусных зонах с периодом в 5 лет был построен график распределения землетрясений и лет, когда количество землетрясений нарастало или падало в условных единицах. Условные единицы на рис. 2 показывают, сколько раз количество землетрясений было меньше или больше в отличие от прошлой эпохи; общее количество землетрясений на широтных полосах представлено на рис. 3.

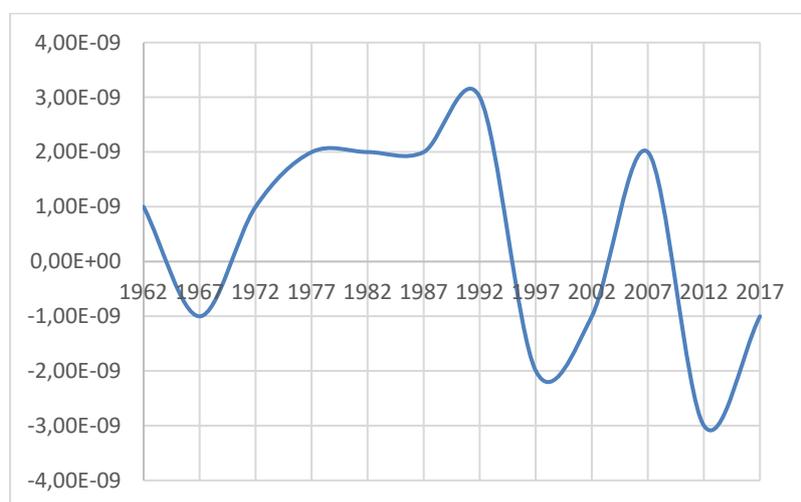


Рис. 2. Тренд изменения количества землетрясений

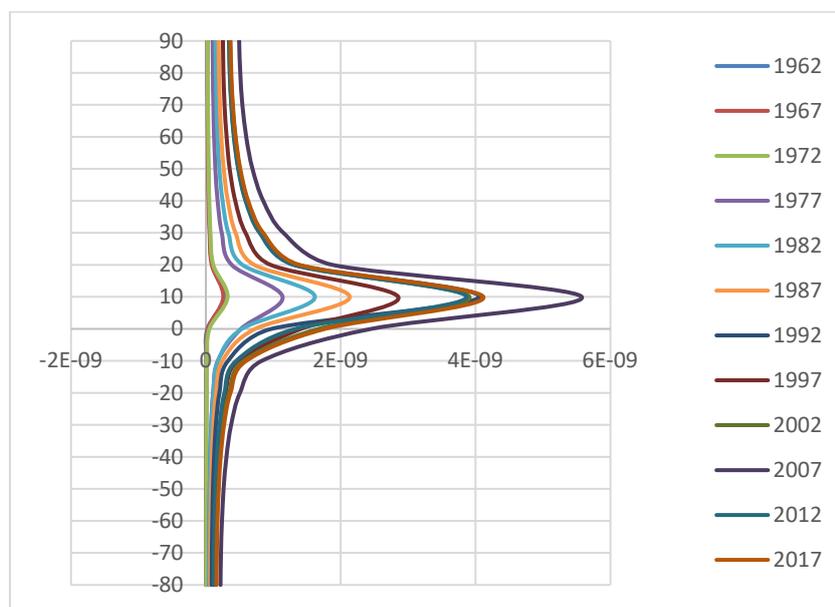


Рис. 3. Количество землетрясений на широтных полосах

В табл. 1 приведены численные значения количества землетрясений на широтных десятиградусных зонах.

Таблица 1

Количество землетрясений на десятиградусных зонах

Зоны \ Год	1962	1967	1972	1977	1982	1987	1992	1997	2002	2007	2012
80–90	2,51 <sup>-11</sup>	2,29 <sup>-11</sup>	2,86 <sup>-11</sup>	1,01 <sup>-10</sup>	1,43 <sup>-10</sup>	1,89 <sup>-10</sup>	3,59 <sup>-10</sup>	2,53 <sup>-10</sup>	3,47 <sup>-10</sup>	4,94 <sup>-10</sup>	3,43 <sup>-10</sup>
70–80	2,59 <sup>-11</sup>	2,36 <sup>-11</sup>	2,95 <sup>-11</sup>	1,04 <sup>-10</sup>	1,48 <sup>-10</sup>	1,95 <sup>-10</sup>	3,70 <sup>-10</sup>	2,61 <sup>-10</sup>	3,57 <sup>-10</sup>	5,09 <sup>-10</sup>	3,53 <sup>-10</sup>
60–70	2,76 <sup>-11</sup>	2,51 <sup>-11</sup>	3,14 <sup>-11</sup>	1,11 <sup>-10</sup>	1,57 <sup>-10</sup>	2,07 <sup>-10</sup>	3,94 <sup>-10</sup>	2,77 <sup>-10</sup>	3,80 <sup>-10</sup>	5,42 <sup>-10</sup>	3,76 <sup>-10</sup>
50–60	3,04 <sup>-11</sup>	2,77 <sup>-11</sup>	3,46 <sup>-11</sup>	1,22 <sup>-10</sup>	1,74 <sup>-10</sup>	2,29 <sup>-10</sup>	4,35 <sup>-10</sup>	3,06 <sup>-10</sup>	4,20 <sup>-10</sup>	5,98 <sup>-10</sup>	4,15 <sup>-10</sup>
40–50	3,52 <sup>-11</sup>	3,21 <sup>-11</sup>	4,00 <sup>-11</sup>	1,41 <sup>-10</sup>	2,01 <sup>-10</sup>	2,65 <sup>-10</sup>	5,03 <sup>-10</sup>	3,54 <sup>-10</sup>	4,85 <sup>-10</sup>	6,92 <sup>-10</sup>	4,80 <sup>-10</sup>
30–40	4,33 <sup>-11</sup>	3,94 <sup>-11</sup>	4,92 <sup>-11</sup>	1,74 <sup>-10</sup>	2,47 <sup>-10</sup>	3,25 <sup>-10</sup>	6,19 <sup>-10</sup>	4,35 <sup>-10</sup>	5,97 <sup>-10</sup>	8,51 <sup>-10</sup>	5,90 <sup>-10</sup>
20–30	5,86 <sup>-11</sup>	5,34 <sup>-11</sup>	6,67 <sup>-11</sup>	2,35 <sup>-10</sup>	3,34 <sup>-10</sup>	4,41 <sup>-10</sup>	8,38 <sup>-10</sup>	5,90 <sup>-10</sup>	8,09 <sup>-10</sup>	1,15 <sup>-9</sup>	7,99 <sup>-10</sup>
10–20	9,55 <sup>-11</sup>	8,71 <sup>-11</sup>	1,09 <sup>-10</sup>	3,84 <sup>-10</sup>	5,45 <sup>-10</sup>	7,19 <sup>-10</sup>	1,37 <sup>-9</sup>	9,61 <sup>-10</sup>	1,32 <sup>-9</sup>	1,88 <sup>-9</sup>	1,30 <sup>-9</sup>
0–10	2,83 <sup>-10</sup>	2,58 <sup>-10</sup>	3,23 <sup>-10</sup>	1,14 <sup>-9</sup>	1,62 <sup>-9</sup>	2,13 <sup>-9</sup>	4,05 <sup>-9</sup>	2,85 <sup>-9</sup>	3,91 <sup>-9</sup>	5,58 <sup>-9</sup>	3,87 <sup>-9</sup>
10–0	2,00 <sup>-11</sup>	3,15 <sup>-11</sup>	5,14 <sup>-11</sup>	5,19 <sup>-10</sup>	5,31 <sup>-10</sup>	7,29 <sup>-10</sup>	9,70 <sup>-10</sup>	1,41 <sup>-9</sup>	1,67 <sup>-9</sup>	2,45 <sup>-9</sup>	1,33 <sup>-9</sup>
20–10	6,73 <sup>-12</sup>	1,06 <sup>-11</sup>	1,73 <sup>-11</sup>	1,75 <sup>-10</sup>	1,79 <sup>-10</sup>	2,46 <sup>-10</sup>	3,27 <sup>-10</sup>	4,75 <sup>-10</sup>	5,62 <sup>-10</sup>	8,25 <sup>-10</sup>	4,47 <sup>-10</sup>
30–20	4,12 <sup>-12</sup>	6,50 <sup>-12</sup>	1,06 <sup>-11</sup>	1,07 <sup>-10</sup>	1,10 <sup>-10</sup>	1,51 <sup>-10</sup>	2,01 <sup>-10</sup>	2,92 <sup>-10</sup>	3,44 <sup>-10</sup>	5,06 <sup>-10</sup>	2,74 <sup>-10</sup>
40–30	3,05 <sup>-12</sup>	4,80 <sup>-12</sup>	7,85 <sup>-12</sup>	7,93 <sup>-11</sup>	8,10 <sup>-11</sup>	1,11 <sup>-10</sup>	1,48 <sup>-10</sup>	2,15 <sup>-10</sup>	2,54 <sup>-10</sup>	3,74 <sup>-10</sup>	2,02 <sup>-10</sup>
50–40	2,48 <sup>-12</sup>	3,90 <sup>-12</sup>	6,38 <sup>-12</sup>	6,44 <sup>-11</sup>	6,58 <sup>-11</sup>	9,04 <sup>-11</sup>	1,20 <sup>-10</sup>	1,75 <sup>-10</sup>	2,07 <sup>-10</sup>	3,04 <sup>-10</sup>	1,65 <sup>-10</sup>
60–50	2,14 <sup>-12</sup>	3,38 <sup>-12</sup>	5,52 <sup>-12</sup>	5,57 <sup>-11</sup>	5,70 <sup>-11</sup>	7,82 <sup>-11</sup>	1,04 <sup>-10</sup>	1,51 <sup>-10</sup>	1,79 <sup>-10</sup>	2,63 <sup>-10</sup>	1,42 <sup>-10</sup>
70–60	1,94 <sup>-12</sup>	3,06 <sup>-12</sup>	5,00 <sup>-12</sup>	5,05 <sup>-11</sup>	5,16 <sup>-11</sup>	7,09 <sup>-11</sup>	9,43 <sup>-11</sup>	1,37 <sup>-10</sup>	1,62 <sup>-10</sup>	2,38 <sup>-10</sup>	1,29 <sup>-10</sup>
80–70	1,82 <sup>-12</sup>	2,87 <sup>-12</sup>	4,70 <sup>-12</sup>	4,74 <sup>-11</sup>	4,85 <sup>-11</sup>	6,66 <sup>-11</sup>	8,86 <sup>-11</sup>	1,29 <sup>-10</sup>	1,52 <sup>-10</sup>	2,24 <sup>-10</sup>	1,21 <sup>-10</sup>
90–80	1,77 <sup>-12</sup>	2,79 <sup>-12</sup>	4,56 <sup>-12</sup>	4,60 <sup>-11</sup>	4,70 <sup>-11</sup>	6,46 <sup>-11</sup>	8,60 <sup>-11</sup>	1,25 <sup>-10</sup>	1,48 <sup>-10</sup>	2,17 <sup>-10</sup>	1,18 <sup>-10</sup>

На рис. 4 можно наблюдать корреляцию между тенденцией изменения угловой скорости вращения Земли и сейсмической активностью. Видно, что резкие изменения в угловой скорости находят отражение в таком же резком изменении сейсмичности планеты [13, 14], причем влияние этого эффекта происходит с задержкой.

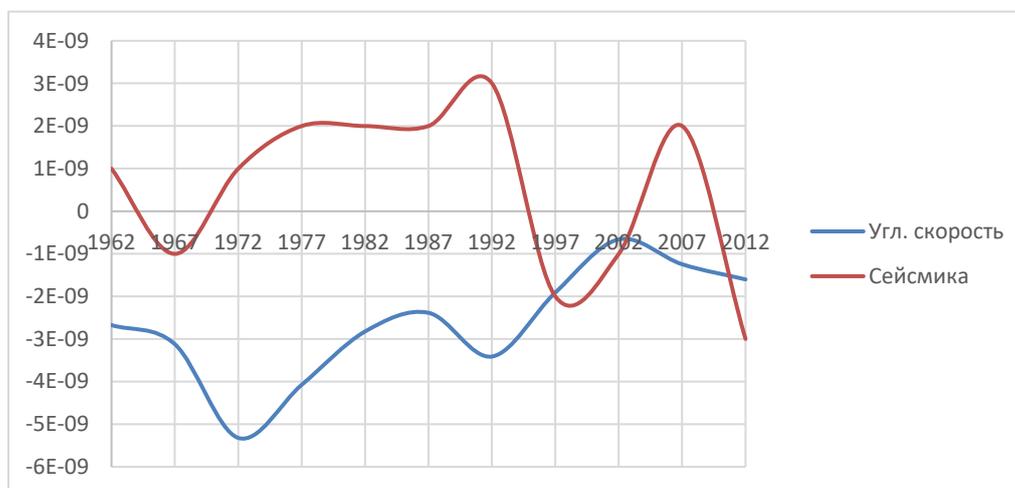


Рис. 4. Корреляция ротационного режима и сейсмичности планеты

В табл. 2 приведены значения угловой скорости вращения Земли, геометрических и динамических моментов инерции, динамического сжатия и разности главных моментов инерции. Данные значения параметров можно использовать в дальнейших научных исследованиях, программа SEISMIC определяет параметры с точностью до 8-го знака.

Таблица 2

Параметры WGS-84

Параметры \ Годы	1962	1967	1972	1977	1982	1987
C-Af	$1,75412 \cdot 10^{25}$	$1,75426 \cdot 10^{25}$	$1,75442 \cdot 10^{25}$	$1,75469 \cdot 10^{25}$	$1,7549 \cdot 10^{25}$	$1,75504 \cdot 10^{25}$
Ageo	$8,05189 \cdot 10^{37}$	$8,05238 \cdot 10^{37}$	$8,05295 \cdot 10^{37}$	$8,05391 \cdot 10^{37}$	$8,05465 \cdot 10^{37}$	$8,05516 \cdot 10^{37}$
Cgeo	$8,07822 \cdot 10^{37}$	$8,0787 \cdot 10^{37}$	$8,07927 \cdot 10^{37}$	$8,08024 \cdot 10^{37}$	$8,08099 \cdot 10^{37}$	$8,0815 \cdot 10^{37}$
Hgeo	0,003258707	0,003258763	0,003258829	0,003258942	0,003259028	0,003259088
Adyn	$8,00497 \cdot 10^{37}$					
Bdyn	$8,00513 \cdot 10^{37}$					
$\omega$ , рад/с	$7,28926 \cdot 10^{-5}$	$7,28899 \cdot 10^{-5}$	$7,28868 \cdot 10^{-5}$	$7,28815 \cdot 10^{-5}$	$7,28774 \cdot 10^{-5}$	$7,28746 \cdot 10^{-5}$
	1992	1997	2002	2007	2012	2017
C-Af	$1,75516 \cdot 10^{25}$	$1,75534 \cdot 10^{25}$	$1,75544 \cdot 10^{25}$	$1,75547 \cdot 10^{25}$	$1,75553 \cdot 10^{25}$	$1,75562 \cdot 10^{25}$
Ageo	$8,0556 \cdot 10^{37}$	$8,05622 \cdot 10^{37}$	$8,05656 \cdot 10^{37}$	$8,05668 \cdot 10^{37}$	$8,05691 \cdot 10^{37}$	$8,0572 \cdot 10^{37}$
Cgeo	$8,08194 \cdot 10^{37}$	$8,08256 \cdot 10^{37}$	$8,08291 \cdot 10^{37}$	$8,08303 \cdot 10^{37}$	$8,08325 \cdot 10^{37}$	$8,08355 \cdot 10^{37}$
Hgeo	0,003259138	0,00325921	0,003259251	0,003259264	0,003259291	0,003259325
Adyn	$8,00497 \cdot 10^{37}$					
Bdyn	$8,00513 \cdot 10^{37}$					
$\omega$ , рад/с	$7,28722 \cdot 10^{-5}$	$7,28688 \cdot 10^{-5}$	$7,28669 \cdot 10^{-5}$	$7,28662 \cdot 10^{-5}$	$7,2865 \cdot 10^{-5}$	$7,28634 \cdot 10^{-5}$

Частные производные полного деформирующего потенциала под действием ротационного режима планеты находят отражение в деформации фигуры Земли и могут быть одними из определяющих факторов проявления сейсмической активности планеты [15, 16].

На рис. 5 и 6 изображены тренды частных производных полного деформирующего потенциала по меридиану и нормали.

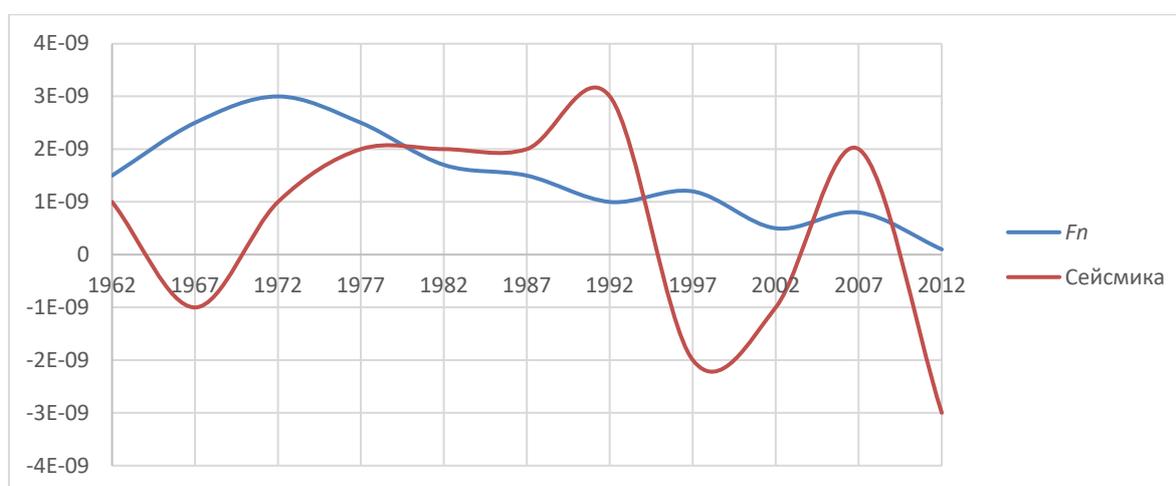


Рис. 5. Составляющая деформирующей силы  $F_n$  по нормали к эллипсоиду и сейсмики планеты

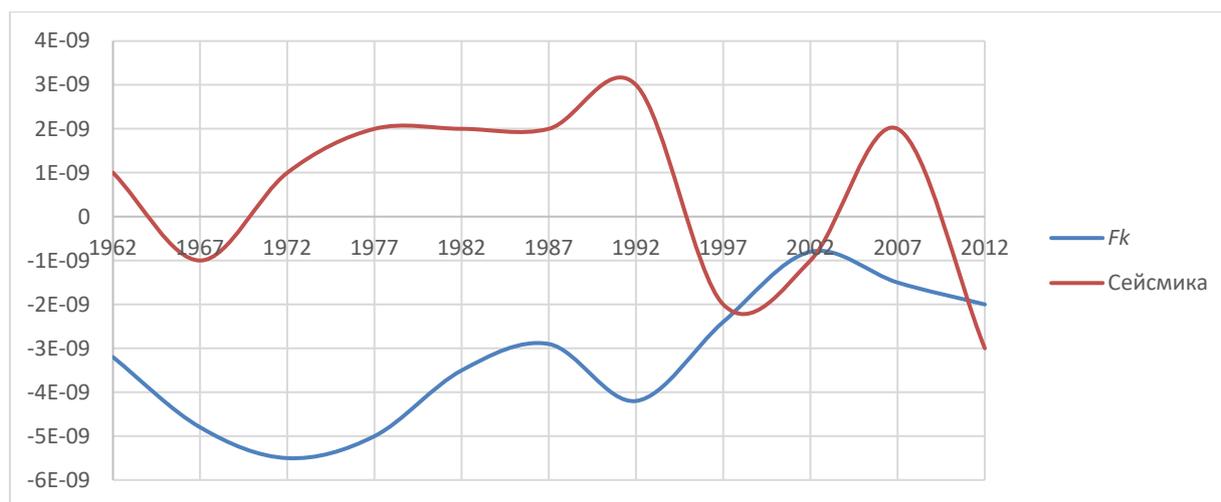


Рис. 6. Составляющая деформирующей силы  $F_k$  по касательной к меридиану и сейсмики планеты

### Вывод

Скачкообразное возрастание или затухание угловой скорости вращения Земли обусловлено, вероятно, внутренними и внешними изменениями и неправильным поверхностным строением ее как фигуры равновесия, что в свою очередь вызывает как внутри, так и на поверхности огромные напряжения и дизъюнктивные нарушения.

Изменение ротационного режима Земли с некоторой долей вероятности вызывает изме-

нение потенциала деформирующих сил, который непосредственно определяет эллиптичность планеты. При этом возникает изменение инерционных деформирующих сил в фигуре Земли и самих моментов инерции на осях.

Можно сделать вывод, что производимое приливами замедление вращения Земли провоцирует изменение деформирующих сил, нарушающих целостность земной коры, приводя к землетрясениям и вулканической активности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондорская Н. В., Шебакин Н. В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М. : Наука, 1977. – 536 с.
2. Тимофеев В. Ю., Бойко Е. В., Ардюков Д. Г., Тимофеев А. В., Сизиков И. С., Носов Д. А. О замедлении вращения Земли // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 40–54.
3. Мазуров Б. Т. Аппроксимация гравитационного влияния локального рельефа с использованием некоторых аналитических моделей и метода конечных элементов // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Т. 31, № 3. – С. 5–16.
4. National Aeronautics and Space Administration NASA [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nasa.gov/>.
5. Стовас М. В. Избранные труды : учеб. для вузов. – М. : Недра, 1975. – 155 с.
6. Global Gravity Field Models [Electronic resource]. – Mode of access : <http://icgem.gfz Potsdam.de>.
7. World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gis.icao.int/egamp/webpdf/REF08-Doc9674.pdf>.
8. Microsoft Visual Studio [Electronic resource]. – Mode of access: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/community/>.
9. Долин С. В., Канушин В. Ф. «Integral Zone Seismic» : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613337 от 15.06.2020 в реестре программ для ЭВМ.
10. International Earth Rotation and Reference Systems Service IERS [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home\\_node.html](https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html).

11. Марков Ю. Г., Перепёлкин В. В., Чазов В. В., Шемяков А. О. Фундаментальные параметры вращения Земли в определении точности долгосрочных эфемеридно-временных поправок в спутниковой навигации // Доклады академии наук. – 2015. – Т. 465, № 6. – С. 678.

12. Argus D. F., Heflin M. B., Owen S. E., Gordon R. G., Ma C., Eanes R. J., Willis P., Peltier W. R. The angular velocities of the plates and the velocity of Earth's center from space geodesy // *Geophysical Journal International*. – 2010. – №. 3. – P. 913–960.

13. Тимофеев В. Ю., Ардюков Д. Г., Тимофеев А. В., Бойко Е. В. Теория плитной тектоники и результаты измерений на постоянной станции космической геодезии NVSK // *Вестник СГУГиТ*. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 95–108.

14. Левина Е. А., Ружич В. В. Проявление одиннадцатилетней периодичности в сейсмомиграционных процессах рифтовых систем Земли // *Современная геодинамика центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе*. – 2016. – С. 269–272.

15. Hussein H. M., Hassan H. M., Saud A. Statistical seismic quiescence evaluation in the Gulf of Aqaba source zone // *Journal of African Earth Sciences*. – 2020. – No. 169. – P. 1–10.

16. Mohammadi F., Luo J. Effects of particle angular velocity and friction force on erosion enhanced corrosion of 304 stainless steel // *Corrosion Science*. – 2010. – No. 52, Vol. 9. – P. 2994–3001.

Получено 10.09.2020

© С. В. Долин, В. Ф. Канушин, 2021

## INFLUENCE OF ROTARY POST-EFFECT ON DISCHARGE IN THE CRUSTAL LAYER

*Sergei V. Dolin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (906)996-05-51, e-mail: Sergeydolin@mail.ru

*Vadim F. Kanushin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-55, e-mail: v.f.kanushin@sgugit.ru

This work represents experiments which have been performed in an attempt to establish a correlation between the constantly changing rotational regime of the planet and the discharge in the crustal layer. From the displacement of the TAI, UTC, and UT1 time scales taken from the site of the International Earth Rotation Service (IERS), the average annual and monthly angular rotation rates were calculated for the period from 1962 to 2018, and a catalog of earthquakes with 1962 to 2018. The compiled algorithm and the written program found partial derivatives of the total deforming potential and the distribution of annual number of earthquakes over the Earth's surface per one square kilometer. The article presents the results of analytical analysis and calculations for further investigation of the rotational regime of the Earth and other planets.

**Keywords:** WGS-84, angular velocity, Earth, deforming potential, deforming forces, centrifugal forces, critical parallels

## REFERENCES

1. Kondorskaya, N. V., & Shebalin, N. V. (1977). *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 g. [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]*. Moscow: Nauka Publ., 536 p. [in Russian].

2. Timofeev, V. Yu., Boyko, E. V., Ardyukov, D. G., Timofeev, A. V., Sizikov, I. S., & Nosov, D. A. (2018). On the deceleration of the Earth's rotation. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 40–54 [in Russian].

3. Mazurov, B. T. (2015). Approximation of the gravitational influence of the local relief using some analytical models and the finite element method. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(31), 5–16 [in Russian].

4. National Aeronautics and Space Administration NASA. (n. d.). Retrieved from <https://www.nasa.gov/>.

5. Stovas, M. V. (1975). *Izbrannye trudy [Selected works]*. Moscow: Nedra Publ., 155 p. [in Russian].
6. Global Gravity Field Models. (n. d.). Retrieved from <http://icgem.gfz Potsdam.de>.
7. World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual (n. d.). Retrieved from <https://gis.icao.int/egap/webpdf/REF08–Doc9674.pdf>.
8. Microsoft Visual Studio (n. d.). Retrieved from <https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/community/>.
9. Dolin, S. V., & Kanushin, V. F. (2020). Integral Zone Seismic. Certificate of state registration of a computer program No. 2020613337 of June 15, 2020 in the register of computer programs.
10. International Earth Rotation and Reference Systems Service IERS. (n. d.). Retrieved from [https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home\\_node.html](https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html).
11. Markov, Yu. G., Perepyolkin, V. V., Chazov, V. V., & Shemyakov, A. O. (2015). Fundamental parameters of the Earth's rotation in determining the accuracy of long-term ephemeris-time corrections in satellite navigation. *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 465(6), P. 678 [in Russian].
12. Argus D. F., Heflin M. B., Owen, S. E., Gordon, R. G., Ma, C., Eanes, R. J., Willis, P., & Peltier, W. R. (2010). The angular velocities of the plates and the velocity of Earth's center from space geodesy. *Geophysical Journal International*, 3, 913–960.
13. Timofeev, V. Yu., Ardyukov, D. G., Timofeev, A. V., Boyko, E. V. (2019). Theory of plate tectonics and the results of measurements at the permanent space geodesy station NVSK. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGIT]*, 24(2), 95–108 [in Russian].
14. Levina, E. A., & Ruzhich, V. V. (2016). Manifestation of eleven-year periodicity in seismic migration processes of the Earth's rift systems. In *Sovremennaya geodinamika tsentral'noy Azii i opasnye prirodnye protsessy: rezul'taty issledovaniy na kolichestvennoy osnove [Modern Geodynamics of Central Asia and Hazardous Natural Processes: Research Results on a Quantitative Basis]* (pp. 269–272) [in Russian].
15. Hussein, H. M., Hassan, H. M., & Saud, A. (2020). Statistical seismic quiescence evaluation in the Gulf of Aqaba source zone. *Journal of African Earth Sciences*, 169, 1–10.
16. Mohammadi, F., & Luo, J. (2010). Effects of particle angular velocity and friction force on erosion enhanced corrosion of 304 stainless steel. *Corrosion Science*, 9(52), 2994–3001.

Received 10.09.2020

© S. V. Dolin, V. F. Kanushin, 2021