

УДК 550.34.01

## ПОПРАВКИ В ЧИСЛА ЛЯВА НА ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ И КОРИОЛИСОВЫ УСКОРЕНИЯ И ИХ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ШИРОТЫ

© 2016 г. Е.А. Спиридонов

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Вычислены поправки в числа Лява для полусуточных волн на относительные и кориолисовы ускорения с учетом их широтной зависимости.

*Ключевые слова:* зависимость чисел Лява от широты, поправки на относительные и кориолисовы ускорения.

### Введение

Настоящая работа является продолжением исследований, направленных на повышение точности первой отечественной программы прогноза параметров земных приливов ATLANTIDA3.1\_2014. Подробное описание программы и ее возможностей содержится в работах [Спиридонов, 2014; Spiridonov et al., 2015].

Ранее было показано [Спиридонов, 2015а], что результаты, получаемые при использовании нашей программы, лежат ближе к наблюдениям сети сверхпроводящих гравиметров, чем прогнозные величины, рассчитанные при помощи программы PREDICT из пакета Венцеля ETERNA [Wenzel, 1996]. Этот результат достигается как за счет применения при расчете дельта-факторов более современной океанической приливной модели FES2012 и модели строения Земли IASP91, так и вследствие более полного учета изменения чисел Лява с широтой. Также наши результаты оказались ближе к наблюдениям по сравнению с прогнозом, рассчитанным по негидростатической модели DDW/NH [Dehant et al., 1999] совместно с FES2012. Это, в частности, указывало на отсутствие необходимости введения негидростатичности при расчетах по модели IASP91. В работе [Спиридонов, 2015б] в основном подтверждены установки нашей программы по умолчанию, а именно: выбор океанической модели FES2012 и модели строения Земли IASP91, учет диссипации и отказ от массовой коррекции при расчете океанического гравиметрического эффекта.

До сих пор в программе применялись поправки к числам Лява на относительные и кориолисовы ускорения, вычисленные С.М. Молоденским и опубликованные в работе

[Молоденский, 1984]. В этой работе автор явно указывает на зависимость указанных поправок от широты, но не вычисляет эту зависимость. В качестве поправок к числам Лява для полусуточных волн приводятся два значения для чисел  $k$  и  $h$  без указания широты, на которой они определены. В то же время необходимость дальнейшего повышения точности вычислений подразумевает определение широтной зависимости для поправок в числа Лява на относительные и кориолисовы ускорения. Это и являлось главной целью настоящей работы.

В первом разделе приведена методика вычислений поправок, а во втором показаны основные результаты вычислений. В частности, выяснено, что полученные значения поправок симметричны относительно экватора.

### Метод вычисления поправок на относительные и кориолисовы ускорения

Уравнения, описывающие состояние упругой самогравитирующей вращающейся сжимаемой сферы, можно записать в виде:

$$\vec{L} = \rho \left( \ddot{\vec{u}} + 2 \left[ \vec{\omega} \dot{\vec{u}} \right] \right). \quad (1)$$

Здесь  $\vec{L}$  – вектор, представляющий собой сумму упругих и гравитационных сил. В него же входит сила инерции. Этот вектор равен левой части уравнения (4) из работы [Spiridonov, 2014]. Два слагаемых в правой части уравнения (1)  $\ddot{\vec{u}}$  и  $2 \left[ \vec{\omega} \dot{\vec{u}} \right]$  – относительные и кориолисовы ускорения;  $\vec{u}$  – вектор смещения;  $\rho$  – плотность. В случае суточных волн в правую часть уравнения (1) входит также нутационный член.

Решение уравнения (1) в сферической системе координат будем искать в виде:

$$u_r = H \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right), \quad u_\theta = \frac{T}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right), \quad u_\varphi = \frac{T}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right). \quad (2)$$

В (2) входят три вспомогательные функции радиуса  $r$ , кошироты  $\theta$  и порядка  $n$ : функция  $H$ , характеризующая радиальное смещение,  $T$  – тангенциальное смещение и  $R$  – изменение потенциала в результате деформации (здесь  $\varphi$  – долгота). Соответствующим образом нормированные значения этих функций на поверхности Земли фактически представляют собой числа Лява  $n$ -го порядка. Здесь и далее индекс « $n$ » мы опускаем;

$\bar{\omega} = \frac{\omega a^{n-1}}{g_0}$  – нормированный на средний радиус сферы  $a$  и ускорение свободного падения  $g_0$  на ее поверхности внешний потенциал  $\omega$ .

Строго говоря, при нахождении вычисляемых здесь поправок в числа Лява на относительные и кориолисовы ускорения задачу (1) вполне можно решать для сферы, т.е. пренебрегать эффектами эллиптичности порядка сжатия. Это связано с тем обстоятельством, что сами по себе поправки малы, т.е. их величины уже порядка сжатия, поэтому учет, например, эллиптичности приводит к погрешностям второго порядка по сжатию, т.е. в лучшем случае уточнению единиц в пятом знаке после запятой. В то же время поправки, найденные для сферы, безусловно, можно добавлять к числам Лява, вычисленным для эллиптической Земли, например, в работе [Spiridonov, 2014].

Можно показать, что составляющие вектора  $\vec{L}$  после подстановки (2) в уравнение (1) для сферы в правой сферической системе координат  $(\theta; \varphi; r)$  зависят от внешнего нормированного потенциала  $\bar{\omega}$  и его частных производных следующим образом:

$$\vec{L} \left( L_\theta \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right); L_\varphi \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right); L_r \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right) \right). \quad (3)$$

Функции  $L_\theta = L_\varphi$  и  $L_r$  после приравнивания их к нулю дают первые два уравнения М.С. Молоденского из работы [Молоденский, 1953]. В случае учета в (1) зависимости чисел Лява от широты [Spiridonov, 2014] составляющая вектора (3) по  $\theta$  будет содержать дополнительное слагаемое, зависящее от  $\left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right)$ , и, наоборот, составляющая по  $r$  – слагаемое, зависящее от  $\frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right)$ .

Из выражений (2) и (3) видно, что зависящий только от широты потенциал полусуточных волн не может непосредственно вызывать смещения в долготном направлении ( $u_\varphi = 0$ ), а также напрямую приводить к изменению в этом направлении упругих и гравитационных сил и появлению относительных ускорений. Тем не менее смещения и ускорения в долготном направлении будут все же отличны от нуля в результате действия вызываемых этим потенциалом сил Кориолиса. В дальнейшем мы будем обозначать эти смещения и ускорения  $\tilde{u}_\varphi$  и  $\ddot{u}_\varphi$ , причем ускорение  $\ddot{u}_\varphi$  направлено против орта  $i_\varphi$ . С учетом вышесказанного и последнего замечания для компонент входящей в правую часть уравнений (1) суммы относительных и кориолисовых ускорений имеем

$$\vec{a} = \ddot{\vec{u}} + 2 \left[ \bar{\omega} \dot{\vec{u}} \right] = \begin{bmatrix} \dot{u}_\theta - 2\omega_r \dot{u}_\varphi \\ -\dot{u}_\varphi + 2\omega_r \dot{u}_\theta - 2\omega_\theta \dot{u}_r \\ \dot{u}_r + 2\omega_\theta \dot{u}_\varphi \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Компоненты вектора  $\vec{a}$  в формуле (4) перечислены сверху вниз в порядке  $\theta, \varphi, r$ . Здесь  $\omega_\theta$  и  $\omega_r$  – составляющие вектора угловой скорости вращения Земли ( $\omega_\varphi = 0$ ).

Учитывая, что

$$\ddot{\vec{u}} = -\sigma^2 \vec{u}; \quad \dot{\vec{u}} = \sigma \dot{\vec{u}}; \quad \dot{\vec{u}} = -\sigma \vec{u},$$

а

$$\omega_\theta = -\Omega \sin \theta, \quad \omega_r = \Omega \cos \theta,$$

где  $\sigma$  – частота внешнего приливного потенциала и  $\Omega$  – средняя угловая скорость вращения Земли, для составляющих суммарного ускорения  $\vec{a}$  из (4) имеем

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} -\sigma^2 u_\theta + 2\sigma \Omega \cos \theta \tilde{u}_\varphi \\ \sigma^2 \tilde{u}_\varphi - 2\sigma \Omega (\sin \theta u_r + \cos \theta u_\theta) \\ -\sigma^2 u_r + 2\sigma \Omega \sin \theta \tilde{u}_\varphi \end{bmatrix}. \quad (5a)$$

$$\sigma^2 \tilde{u}_\varphi - 2\sigma \Omega (\sin \theta u_r + \cos \theta u_\theta). \quad (5b)$$

$$-\sigma^2 u_r + 2\sigma \Omega \sin \theta \tilde{u}_\varphi \quad (5b)$$

Вследствие равенства нулю производной от внешнего потенциала по долготе уравнение (1) по  $\varphi$  носит чисто кинематический характер и позволяет получить выражение для смещения по долготе  $\tilde{u}_\varphi$ , вызванного силой Кориолиса:

$$\tilde{u}_\varphi = \frac{2\Omega}{\sigma} (\sin \theta u_r + \cos \theta u_\theta). \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5а) и (5в), а также учитывая выражения для смещений (2) и частоту полусуточных волн  $\sigma = -2\Omega$ , для суммарных ускорений в направлениях  $\theta$  и  $r$  имеем

$$\begin{aligned} a_{\theta} &= -4\Omega^2 \left( \sin^2 \theta \frac{T}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right) - \cos \theta \sin \theta \cdot H \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right) \right); \\ a_r &= -4\Omega^2 \left( \cos^2 \theta \cdot H \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right) - \cos \theta \sin \theta \cdot \frac{T}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Входящие в (7) слагаемые  $-\cos \theta \sin \theta \cdot H \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right)$  и  $-\cos \theta \sin \theta \cdot \frac{T}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{\omega}}{r^n} \right)$  имеют смысл только в предположении зависимости чисел Лява от широты и попадают в этом случае в два дополнительных уравнения, определяемых слагаемыми, которые мы обсуждаем после выражения (3). Эти дополнительные уравнения выпадают из приведенной ниже интегрируемой системы уравнений (9)–(14). Таким образом, после умножения на плотность  $\rho$  для компонент суммы относительных и кориолисовых сил, действующих на единицу объема, окончательно имеем:

$$\begin{aligned} F_{\theta} &= \left( -4\rho\Omega^2 \sin^2 \theta \frac{T}{r} \right) \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\bar{w}}{r^n} \right); \\ F_r &= \left( -4\rho\Omega^2 \cos^2 \theta \cdot H \right) \left( \frac{\bar{w}}{r^n} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения (8) приводят к дополнению последних двух уравнений ((11) и (12)) интегрируемой системы шестого порядка, представленной в работе [Spiridonov, 2014].

Поскольку не так давно в этой системе было найдено и исправлено несколько ошибок, здесь мы приводим ее целиком:

$$\bar{H}' = \frac{1}{r} \left( n - 2 \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right) \bar{H} + \frac{1}{2n+1} (n(n+1) - \psi + 6\epsilon p_2) \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \frac{1}{r^2} \bar{T} + \frac{n}{\lambda + 2\mu} \bar{N}; \quad (9)$$

$$\bar{T}' = -(2n+1) \bar{H} + \frac{1}{r} (n+2) \bar{T} + \frac{n}{r^2 \mu} \bar{M}; \quad (10)$$

$$\bar{R}' = 4\pi G\rho (2n+1) \bar{H} + \frac{n}{r} \bar{R} + \frac{1}{r^2} (n+1) \bar{L}; \quad (11)$$

$$\bar{L}' = 4\pi G\rho \left( \frac{\psi - 3\epsilon p_2}{n+1} - n \right) \bar{T} + n \bar{R} + \frac{n}{r} \bar{L}; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \bar{M}' &= - \left[ 2r\mu \frac{2\mu + 3\lambda}{\lambda + 2\mu} + \rho r^2 V' \right] \frac{2n+1}{n} \bar{H} + \left[ n(n+1) \frac{2\mu\lambda}{\lambda + 2\mu} + 2\mu(n^2 + n - 1) - \right. \\ &\left. - \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\mu + 2\mu} (\psi - 6\epsilon p_2) - 6\epsilon p_2 \mu - 4\rho r^2 \Omega^2 \sin^2 \theta \right] \frac{1}{n} \bar{T} - \frac{\rho r^2}{n} \bar{R} + \frac{n}{r} \bar{M} - r^2 \frac{\mu}{\mu + 2\mu} (2n+1) \bar{N}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \bar{N}' &= \left[ \frac{4\mu}{r^2} + \frac{4}{r} \rho V' + \frac{8}{r^2} \frac{\mu\lambda}{\lambda + 2\mu} + \frac{2\mu\psi}{r^2} - 2\rho\Omega^2 - 4\rho\Omega^2 \cos^2 \theta \right] \frac{1}{n} \bar{H} - \\ &- \left( \rho V' + \frac{2}{r} \mu + \frac{4}{r} \frac{\mu\lambda}{\lambda + 2\mu} \right) \left[ (n+1) - \frac{\psi - 6\epsilon p_2}{n} \right] \frac{1}{r^2} \frac{1}{2n+1} \bar{T} - \\ &- \frac{\rho}{r^2} \frac{n+1}{n(2n+1)} \bar{L} + \frac{1}{r^4} \frac{n(n+1)}{2n+1} \bar{M} + \frac{1}{r} \left( n - 4 \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} \right) \bar{N}, \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$\psi = \frac{\rho}{2\mu} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} + \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right).$$

В приведенных уравнениях приняты те же обозначения и граничные условия, что и в работе [Spiridonov, 2014]. В уравнении (13) изменения, связанные с добавлением относительных и кориолисовых сил (8), состоят в добавлении слагаемого  $-4\rho r^2 \Omega^2 \sin^2 \theta$  в скобки при  $\frac{1}{n} \bar{T}$ . В уравнение (14) добавлен член  $-4\rho \Omega^2 \cos^2 \theta$  в скобки при  $\frac{1}{n} \bar{H}$ . Вывод системы (9)–(14) [Spiridonov, 2014] подразумевал достаточно произвольный вид внешнего потенциала. Он являлся однородным гармоническим многочленом порядка  $n$  и мог включать в себя сумму, например, суточных и полусуточных приливных волн. Получаемые числа Лява при этом вовсе не зависели от вида внешнего потенциала. Их зависимость от широты определялась эллиптичностью строения Земли. Поскольку система верна для суммы волн, она верна и для одной либо всех полусуточных волн, а значит, описанная выше процедура добавления в полученные ранее уравнения членов, описывающих действие относительных и кориолисовых ускорений, является корректной.

В результате интегрирования системы шестого порядка при граничных условиях, показанных в [Spiridonov, 2014], получаем искомые поправки в числа Лява на относительные и кориолисовы ускорения. Интересно отметить, что эти поправки зависят в основном только от частоты внешнего потенциала (в данном случае потенциала полусуточных волн), но не зависят от амплитуды потенциала. Величины указанных поправок также практически не зависят от выбора модели строения Земли.

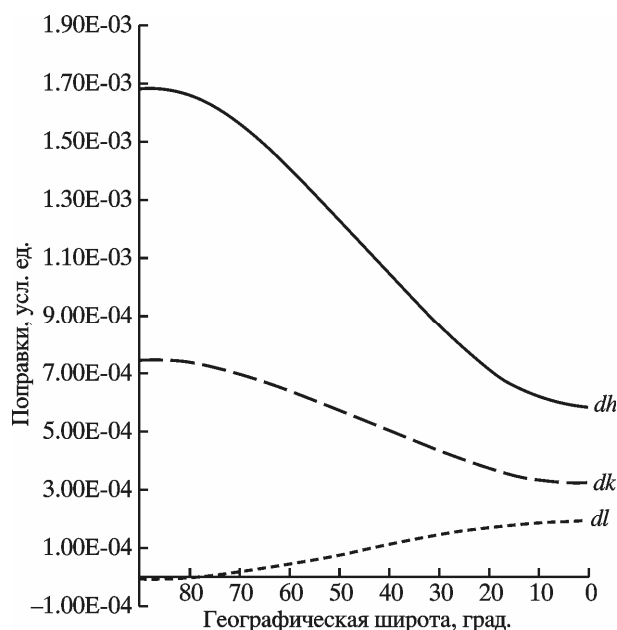
### Основные численные результаты

Полученные значения поправок на относительные и кориолисовы ускорения в числа Лява для полусуточных волн и их зависимости от широты показаны на рис. 1 и в табл. 1. В последнем столбце табл. 1 также приведены значения поправок в амплитудные дельта-факторы полусуточных волн для упругой Земли без океана, а в последних двух строках – разности величин поправок (полюс минус экватор), характеризующие общий перепад рассчитанных значений с широтой, и те же разности (в %) от средних значений чисел Лява и амплитудных факторов.

На рис. 1 видно, что зависимости поправок от широты симметричны относительно экватора. В строках табл. 1 последовательно показаны значения поправок на экваторе, вблизи широты  $45^\circ$  (среднее) и на полюсе.

Интересно, что амплитуды изменения полученных нами поправок  $dk$  и  $dh$  на относительные и кориолисовы ускорения (т.е. значения разностей их значений между полюсом и экватором, поделенные на 2) до единиц в пятом знаке после запятой совпадают со значениями самих этих поправок, вычисленных в работе [Молоденский, 1984. С. 62] ( $dh = 0.00054$  и  $dk = 0.00019$ ).

Из данных, приведенных на рис. 1 и в предпоследней строке табл. 1, видно, что наибольший рост от экватора к полюсу в абсолютной мере наблюдается для поправки  $dh$  (0.0011). Почти на порядок меньший перепад получился для  $dk$  (0.00043). В то же время отношения обсуждаемых разностей (полюс минус экватор) к средним значениям самих чисел Лява  $h$  и  $k$  (последняя строка табл. 1) практически одинаковы: 0.18 % и 0.14 %



**Рис. 1.** Изменение с широтой поправок в числа Лява на относительные и кориолисовы ускорения для полусуточных волн

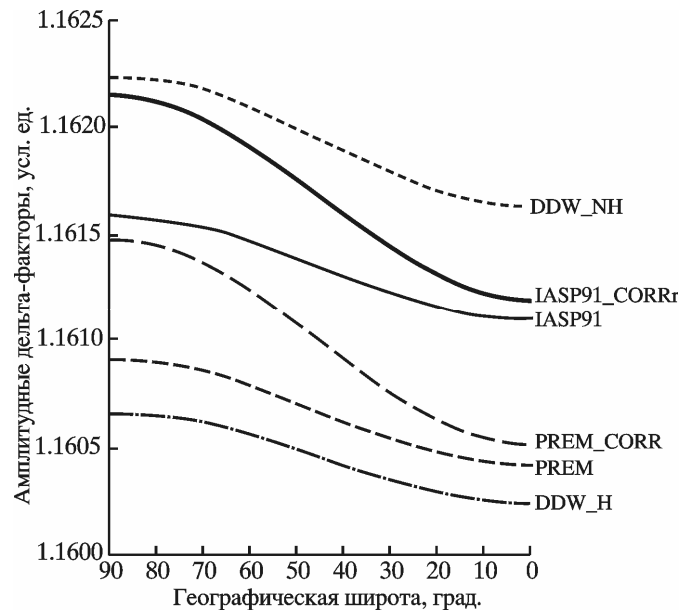
**Таблица 1.** Изменение поправок в числа Лява и амплитудные дельта-факторы на относительные и кориолисовы ускорения для полусуточных волн от экватора к полюсу

Широта	$dk$	$dh$	$dl$	$d\delta$
Экватор	3.23E-04	5.86E-04	1.94E-04	1.01E-04
Вблизи 45°	5.38E-04	1.14E-03	9.54E-05	3.33E-04
Полюс	7.51E-04	1.69E-03	-3.64E-06	5.65E-04
Полюс – экватор	4.28E-04	1.11E-03	-1.98E-04	4.64E-04
Полюс – экватор, %	1.43E-01	1.81E-01	-2.31E-01	3.99E-02

соответственно. Несколько отличается в этом плане число Шида  $l$ , для которого указанное отношение составляет почти 0.23 %. Сама же поправка  $dl$  к этому числу изменяется с широтой на 0.00020, уменьшаясь от экватора к полюсу. Изменение амплитудного дельта-фактора от полюса к экватору за счет действия относительных и кориолисовых ускорений составляет 0.00046, или 0.04 % от его средней величины. На полюсе поправка в дельта-фактор составляет 0.00057, а на экваторе – всего 0.00010. В целом анализ данных, представленных на рис. 1 и в табл. 1, показывает, что кориолисовы силы частично компенсируют относительные ускорения в высоких и средних широтах и превосходят их на экваторе.

Зависимости амплитудных дельта-факторов для упругой Земли без океана от широты для различных вариантов моделей представлены на рис. 2 и в табл. 2. Имеется в виду суммарный вклад в широтную зависимость обсуждаемых здесь поправок на относительные и кориолисовы ускорения, а также на эллиптичность Земли, эффект которой был вычислен в работе [Spiridonov, 2014].

На рис. 2 показаны значения дельта-факторов, полученные нами для модели строения Земли IASP91 при применении поправок на относительные и кориолисовы ускорения из настоящей работы (кривая IASP91\_CORR) и без применения этих поправок (кривая IASP91), те же кривые, построенные для модели PREM (соответственно PREM\_CORR и PREM), а также широтные зависимости дельта-факторов для моделей DDW\_NH и DDW\_H [Dehant et al., 1999].



**Рис. 2.** Изменение амплитудных дельта-факторов полусуточных волн для упругой Земли без океана с широтой

Пояснения см. в тексте

**Таблица 2.** Амплитудные дельта-факторы суточных волн для упругой Земли без океана

Широта	IASP91	PREM	IASP91_CORR	PREM_CORR	DDW_H	DDW_NH
Экватор	1.16110	1.16042	1.16120	1.16052	1.16024	1.16163
Вблизи 45°	1.16134	1.16067	1.16167	1.16100	1.16045	1.16194
Полюс	1.16159	1.16092	1.16215	1.16148	1.16066	1.16224
Полюс – экватор	0.00050	0.00050	0.00095	0.00096	0.00042	0.00061
Полюс – экватор, %	0.04	0.04	0.08	0.08	0.04	0.05

Анализ данных, приведенных на рис. 2 и в табл. 2, показывает, что в результате применения поправок на относительные и кориолисовы ускорения, рассчитанных в настоящей работе, амплитудные дельта-факторы полусуточных волн заметно увеличились на всем протяжении от экватора до полюса. Относительное изменение значений дельта-фактора от экватора к полюсу для обеих моделей строения Земли составило 0.08 % от его среднего значения против значения 0.04 %, полученного в варианте без поправок.

Итоговые значения амплитудных дельта-факторов  $\delta$  и чисел Лява  $k$ ,  $h$  и  $l$  полусуточных волн, рассчитанные с учетом поправок на относительные и кориолисовы ускорения и эллиптичность Земли для модели строения IASP91, могут быть определены для любой широты (от 0° до 90°) при помощи следующей приближенной формулы:

$$p = a\theta^5 + b\theta^4 + c\theta^3 + d\theta^2 + e\theta + f. \tag{15}$$

Здесь под  $p$  понимается любой из вычисляемых параметров  $dk$ ,  $dh$  или  $dl$ ;  $\theta$  – коширота в радианах. Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  и  $f$  для каждой из вычисляемых величин приведены в табл. 3. Вычисления по формуле (15) можно производить от полюса до экватора (от 0° до 90° кошироты, выраженной в радианах). Относительно экватора кривые симметричны. Формула (15) воспроизводит модельные значения с точностью до седьмого знака после запятой. Для контроля вычислений чисел Лява можно пользо-

ваться данными табл. 4, в которой представлены их значения на полюсе, экваторе и широте 45°. При вычислении амплитудного дельта-фактора контрольные значения можно взять из столбца «IASP91\_CORR» табл. 2. Среднее значение амплитудного фактора в этой таблице соответствует широте 45°.

**Таблица 3.** Коэффициенты для приближенной формулы (15)

Показатель	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
$\delta$	-1.1556457039E-04	4.5223161173E-04	-7.5251591596E-05
<i>k</i>	2.4669222024E-04	-9.6923388564E-04	1.7268608262E-04
<i>h</i>	2.5447332262E-04	-1.0016188643E-03	1.8377834017E-04
<i>l</i>	-9.0766341677E-05	3.5569455626E-04	-6.0638035908E-05
	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
$\delta$	-9.3484819025E-04	-2.3148725611E-06	1.1621502257E+00
<i>k</i>	1.9857080671E-03	5.8634297440E-06	2.9890413211E-01
<i>h</i>	2.0437126281E-03	6.4797991703E-06	6.1050642388E-01
<i>l</i>	-7.3304351905E-04	-1.9371521655E-06	8.6236869910E-02

**Таблица 4.** Итоговые значения амплитудного дельта-фактора и чисел Лява

Широта	$\delta$	<i>k</i>	<i>h</i>	<i>L</i>
Экватор	1.16120	0.30094	0.61261	0.08549
45°	1.16167	0.29992	0.61156	0.08586
Полюс	1.16215	0.29890	0.61051	0.08624

### Заключение

На основании полученных в настоящей работе результатов можно сделать вывод о том, что поправки в числа Лява полусуточных волн на относительные и кориолисовы ускорения заметно изменяются с широтой, поэтому применение их средних значений при прогнозе параметров земных приливов при современном уровне точности гравиметрических измерений является неприемлемым.

### Литература

- Молоденский М.С. Упругие приливы, свободная нутация и некоторые вопросы строения Земли // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. 1953. № 19 (146). С. 3–52.
- Молоденский С.М. Приливы, нутация и внутреннее строение Земли. М.: ИФЗ РАН, 1984. 216 с.
- Спиридонов Е.А. Программа анализа данных земноприливных наблюдений ATLANTIDA 3.1\_2014 // Наука и технологические разработки. 2014. Т. 93, № 3. С. 3–48.
- Спиридонов Е.А. Результаты сравнения прогнозных значений параметров земных приливов с данными наблюдений // Сейсмические приборы. 2015а. Т. 51, № 2. С. 31–43.
- Спиридонов Е.А. О влиянии диссипации и выбора модели строения Земли на качество прогноза параметров земных приливов // Сейсмические приборы. 2015б. Т. 51, № 3. С. 47–58.
- Dehant V., Defraigne P., Wahr J.M. Tides for a convective Earth // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 1035–1058.



*Spiridonov E.* Tidal-amplitude delta-factors and their dependence on latitude // Geophys. Res. Abstr. 2014. V. 16. EGU2014-1296.

*Spiridonov E., Vinogradova O., Boyarskiy E., Afanasyeva L.* ATLANTIDA3.1\_2014 for WINDOWS: A software for tidal prediction // Bull. Inf. Marées Terrestres. Feb. 2015. V. 149. P. 12063–12082.

*Wenzel H.G.* The nanogal software: Earth tide data processing package Eterna3.30 // Bull. D'Inf. Maree Terr. 1996. V. 124. P. 9425–9439.

*Сведения об авторе*

**СПИРИДОНОВ Евгений Александрович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (915) 141-78-76. E-mail: sp287@mail.ru

**CORRECTIONS TO THE LOVE NUMBERS  
FOR THE RELATIVE AND CORIOLIS ACCELERATIONS  
AND THEIR LATITUDE DEPENDENCE**

**E.A. Spiridonov**

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** Corrections to the Love numbers for the relative and Coriolis accelerations for semidiurnal waves in view of their latitude dependence are calculated.

*Keywords:* Love numbers latitude dependence, corrections for the relative and Coriolis accelerations.