

3. Krasnaya kniga Orlovskoj oblasti. Griby. Rasteniya. Zhivotnye [Red Book of Orel Region. Mushrooms. Plants. Animals], Orel: Izdatel Aleksandr Vladimirovich Vorob'yov, 2007, 263 p. (in Russian).
4. Krasnaya kniga Rossijskoj Federacii (rasteniya i griby) [Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Red. Yu.P. Trutnev i dr. Sost. R.V. Kamelin i dr., Moscow, 2008, 855 pp. (in Russian).
5. Prigoryanu O.M., Kiselyova L.L. Etapy sozdaniya ekologicheskoy seti Orlovskoj oblasti [Stages of creating an ecological network in Orel Region]. Chelovek i geograficheskaya sreda: materialy region nauch.-prakt. konf., Orel, 2001, pp. 16–20 (in Russian).
6. Prigoryanu O.M., Kiselyova L.L. Struktura i sodержanie geograficheskoy informatsionnoy sistemyi “Prirodnyie resursyi Orlovskoy oblasti” [Structure and content of the geographical information system “Natural Resources of Orel Region”]. Uch'yonye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya “Estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki”, Orel, 2010, No 2, pp. 127–133 (in Russian).
7. Seryogin A.P. Flora Vladimirskoy oblasti: Konspekt i atlas [Flora of Vladimir region: Abstract and atlas], A.P. Seryogin, pri uchastii E.A. Borovichyova, K.P. Glazunovoy, Yu.S. Kokoshnikovoy, A.N. Sennikova, Tula: Grif i K, 2012, 620 p. (in Russian).
8. Seryogin A.P. Flora sosudistyh rastenij nacionalnogo parka “Meshchyora” (Vladimirskaya oblast) [Flora of vascular plants of the national park “Meshchyora” (Vladimir Region)]: Annotirovannyj spisok i karty rasprostraneniya vidov. Moscow, 2004, 182 p. (in Russian).
9. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Wien – New York, 1964, 865 p. (in German).
10. Jalas J., Suominen J. (eds.) Atlas Florae Europaeae. Distribution of Vascular Plants in Europe. 1. Pteridophyta (Psilotaceae to Azollaceae), The Committee for Mapping the Flora of Europe & Societas Biologica Fennica Vanamo, Helsinki, 1972, 121 p.
11. Kurto A., Weber H.E., Lampinen R., Sennikov A.N. (eds.). Atlas Florae Europaeae. Distribution of Vascular Plants in Europe. 15. Rosaceae (Rubus). The Committee for Mapping the Flora of Europe & Societas Biologica Fennica, Vanamo, Helsinki, 2010, 362 p.

УДК 528.88: 528.856: 502.065: 004.9

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-219-228

О.В. Зенкин¹

РАСЧЁТ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИЛИВНЫХ ЛУННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗЕМНОМ СФЕРОИДЕ

АННОТАЦИЯ

Основным методом, который применялся в данном исследовании, является метод компьютерной обработки информационных массивов в целях получения статистических данных. Статистические методы научных исследований основаны на анализе частот событий, характеризующих повторяемость явлений во времени и пространстве. Если некоторое явление, или фактор, сопровождается другими событиями, то вполне возможно, что фактор связан с событием, т.е. является причиной возникновения события, которое в этом случае является следствием. Даже беглое изучение статистических данных, касающихся времени наступления приливных явлений на Земле и конфигураций взаимных расположений Луны и Солнца, складывающихся в это же время на небесной сфере, показало, что между этими временными событиями существует несомненная связь, подтверждающаяся высокими частотами повторения одних и тех же конфигураций. Лунные и солнечные приливы,

¹ Технический нефтегазовый институт Сахалинского государственного университета; Россия, 693008, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: mazur_i@mail.ru

землетрясения, парады планет являются непосредственно наблюдаемыми космическими событиями. Однако, несмотря на то, что участки поверхности Земли, где происходят приливные явления, участвуют в движениях сложной природы, вызванных вращением Луны и Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, их связь с космическими объектами зачастую скрыта от наблюдателя. Земля участвует в гироскопическом типе движения, которое вызывает возникновение широкого спектра разнообразных физических полей и воздействий, например, гироскопических и кориолисовых сил, центробежных и центростремительных сил, гравитационных сил, инерционных моментов и др.

К приливным лунным воздействиям можно отнести такие кинематические характеристики, как кинетический момент, момент сил, приливные силы, кинетическая энергия, и др. Темой статьи является расчёт этих воздействий для точек (участков) на поверхности земного сфероида в системе координат, связанной с центром масс Луны и Земли – барицентром. Возможны различные способы расчёта приливных лунных воздействий, в зависимости от выбора системы отсчёта, а также применяемого метода расчёта. В частности, в работе приводятся расчёты моментов сил относительно оси (линии), либо центра (точки).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

кинетический момент, момент сил, эфемериды, барицентр, радиальная проекция, ортогональная составляющая

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются приливные процессы, возникающие при суточном вращении Земли. Расположение Луны определяется при помощи эфемерид. Эфемериды используются для определения местоположения наблюдателя. Также эфемеридами называются координаты искусственных и естественных спутников Земли, а также планет Солнечной системы. В данной работе эфемериды DE405 применяются для нахождения местоположения Луны [Standish, 1998]. Эфемериды DE405 – это депозитарий координат объектов в пространственной прямоугольной системе координат, в зависимости от значения времени в юлианском (Julian) формате даты и времени.

Другой набор данных, который применяется в данной работе, – это астрономическая библиотека [TheIDL Astronomy User's Library, 2005], – разработка корпорации NASA, предназначенная для депозитарного хранения астрономических данных о местоположении объектов на поверхности Земли. Это набор программных утилит, из которых пользователь имеет возможность выбрать, либо модифицировать уже имеющееся программное обеспечение. В данной работе астрономическая библиотека позволяет определить местоположение точек на поверхности земного сфероида по геодезическим координатам в юлианском формате даты и времени и перевести в глобальную пространственную прямоугольную систему координат.

Приливные лунные воздействия возникают за счёт гравитационных эффектов [Соколов-Кутыловский, 2007], которые могут иметь сложный многоплановый характер, и связаны с тензорными расчетами в трёхмерном пространстве. За счёт взаимодействия вращательных движений возникают гравитационные воздействия, вызванные гироскопическими эффектами [Эткин, 2010]. В данной работе приводятся примеры вычислительных процедур, выполняемых в трёхмерном пространстве, которые применяются для расчёта кинематических параметров приливных процессов, таких, как силы, моменты сил. Эти параметры могут применяться как самостоятельный информационный материал для визуализации происходящих воздействий на участки (точки) поверхности Земли, так и в качестве входных данных для разного рода динамических уравнений движения, например, в записи второго закона Ньютона, или уравнений Лагранжа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматривается движение поверхности Земли в системе отсчёта, связанной с центром масс планет (точка С). Относительно этой неподвижной точки происходит вращение Луны и точек на поверхности Земли с угловой скоростью $/W_c/$.

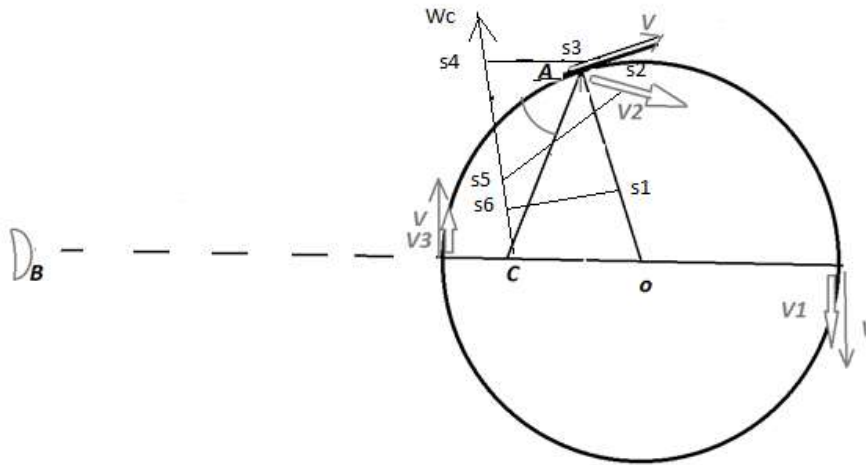


Рисунок 1. Движение точек поверхности Земли в системе отсчёта, связанной с центром масс Луны и Земли

Figure 1. Movement of points on the Earth's surface in a coordinate system associated with with center of Moon and Earth masses

На рисунке представлена Луна и Земля. Линия ОВ соединяет центры Земли и Луны. Центр масс планет располагается в точке /С/. Рассмотрим произвольную точку А на поверхности Земли. Движение этой точки сложное. Центр Земли (точка /о/) вращается вокруг центра масс /С/ с угловой скоростью $/W_c/$, а сама точка участвует в суточном вращении Земли с линейной скоростью $/V/$. Если обозначить $/V_2/$ линейную скорость точки А, возникающую за счёт вращения центра Земли вокруг центра масс, то для сложного движения можно ввести кинетический момент точки А, равный векторному произведению суммы скоростей на сумму радиус-векторов $K = [(V_2+V) \times (CO+OA)]$.

Расчёт скорости V_2 для точки /А/ основывается на скорости т./С/ относительно центра Земли /о/. Опускаем из т./о/ перпендикуляр на ось $/W_c/$, и находим плечо oh; опускаем перпендикуляр из т.А на направление $/W_c/$ и находим плечо Ah, тогда $|V_2| = |V_c| * Ah / oh$, а направление V_2 определим из векторного произведения $[Ah, W_c]$.

Кинетический момент может быть введён двумя способами: относительно центра и относительно оси. Будем производить вычисления кинетического момента относительно оси – вектора угловой скорости $/W_c/$. В этом случае требуется найти кратчайшее расстояние от вектора скорости $/V/$, проходящего через точку А до оси $/W_c/$. Обозначим s_4 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_c/$ и $/V/$, с вектором $/W_c/$; s_3 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_c/$ и $/V/$, с вектором $/V/$. Обозначим s_5 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_c/$ и $/V_2/$, с вектором $/W_c/$; s_2 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_c/$ и $/V_2/$, с вектором $/V_2/$. Также обозначим s_6 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_c/$ и $/oA/$, с вектором $/W_c/$; s_1 – точку пересечения взаимного перпендикуляра, проведённого между векторами $/W_1/$ и $/oA/$, с вектором $/oA/$. Кинетический момент относительно оси $/W_c/$ будет задаваться как сумма векторов $K_w = K_{w1} + K_{w2} + K_{w3} + K_{w4}$, где $K_{w1} = [|s_5s_2| \times |V_2|]$, $K_{w2} = [|s_4s_3| \times |V|]$, $K_{w3} = [|s_5s_2| \times |V|]$, $K_{w4} = [|s_4s_3| \times |V_2|]$. Обозначим для сокращения

радиус-векторы $r_2 = |s_5s_2|$, $r_1 = |s_4s_3|$ и $r_3 = |s_6s_1|$. Тогда можно рассмотреть момент сил относительно оси /Wс/ в точке А:

$$M_{wc} = d(K_w)/dt = V(t) \cdot (dr_1/dt) + r_1(t) \cdot (dV/dt) + V_2(t) \cdot (dr_2/dt) + r_2(t) \cdot (dV_2/dt) + V(t) \cdot (dr_2/dt) + r_1(t) \cdot (dV_2/dt) + V_2(t) \cdot (dr_1/dt) + r_2(t) \cdot (dV/dt) \quad (1)$$

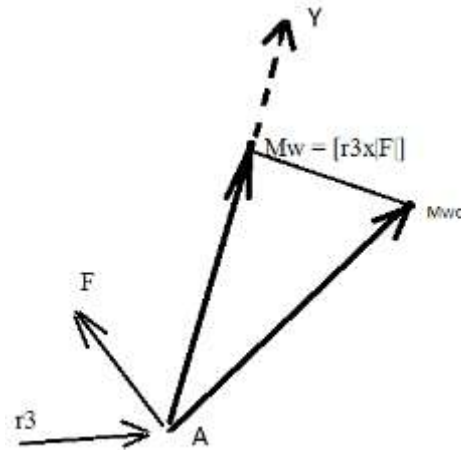


Рисунок 2. Вычисление момента приливных сил
Figure 2. Calculation of the moment of the tidal forces

С другой стороны, момент сил относительно оси $M_w = [r_3 \times F]$, где F – радиально направленная сила из центра Земли /о/ в точку А, которая вызывает лунные приливные эффекты поднятия и опускания водной массы, что даёт:

$$M_w = [r_3 \times F] = \{M_{wc}\} M_w$$

Выражение в левой части, поскольку направления F и r_3 известны, определяет направление (Y) вектора момента сил с неизвестным значением модуля момента сил. В правой части для выражения в фигурных скобках известно как направление, так и модуль момента сил. Если найти проекцию вектора M_{wc} на направление вектора M_w , то может быть определена сила $F = (M_{wc} \cdot Y) / |r_3|$ как скалярное произведение (проекция) векторов, делённое на модуль вектора радиус-вектора $|r_3|$.

Расчёт взаимного перпендикуляра и точек пересечения требуется для нахождения векторов r_1 , r_2 и r_3 . Взаимный перпендикуляр ищется в виде канонического уравнения прямой линии в трёхмерном пространстве $(x-x_4)/m_3 = (y-y_4)/n_3 = (z-z_4)/p_3$. Неизвестными в этом уравнении являются значения коэффициентов m_3, n_3 и p_3 (направляющих косинусов) и координаты какой-нибудь принадлежащей взаимному перпендикуляру точки $T.N(x_4, y_4, z_4)$. Для нахождения коэффициентов m, n и p взаимного перпендикуляра используется условие перпендикулярности с известными линиями:

$$(x-b_1)/m_1 = (y-b_2)/n_1 = (z-b_3)/p_1 \text{ и } (x-d_1)/m_2 = (y-d_2)/n_2 = (z-d_3)/p_2:$$

$$m \cdot m_1 + n \cdot n_1 + p \cdot p_1 = 0$$

$$m \cdot m_2 + n \cdot n_2 + p \cdot p_2 = 0$$

Задавая, например, $p = 1$, из системы двух уравнений можно определить две оставшиеся неизвестные по формулам:

$$n = p \cdot ((p_1/m_1) - (p_2/m_2)) / (- (n_1/m_1) + (n_2/m_2))$$

$$m = (-n \cdot n_1 - p \cdot p_1) / m_1$$

Нормируем коэффициенты на величину $r = (m^2 + n^2 + p^2)^{1/2}$ и находим направляющие косинусы линии взаимного перпендикуляра $m_3 = m/r$; $n_3 = n/r$; $p_3 = p/r$. Осталось найти координаты точки $T.N(x_4, y_4, z_4)$, принадлежащей взаимному перпендикуляру. Используем условия пересечения двух прямых линий в трёхмерном пространстве (рисунок 3):

$$\begin{vmatrix} x_4 - b_1 & y_4 - b_2 & z_4 - b_3 \\ m_1 & n_1 & p_1 \\ m_3 & n_3 & p_3 \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} x_4 - d_1 & y_4 - d_2 & z_4 - d_3 \\ m_2 & n_2 & p_2 \\ m_3 & n_3 & p_3 \end{vmatrix} = 0$$

Рисунок 3. Вычисление точки взаимного перпендикуляра
Figure 3. Calculating the intersection point of orthogonal lines

Вводим для сокращения записи новые параметры:

$$l_1 = (n_1 * p_3 - n_3 * p_1), \quad l_2 = (m_1 * p_3 - m_3 * p_1), \quad l_3 = (m_1 * n_3 - m_3 * n_1), \quad l_4 = (n_2 * p_3 - n_3 * p_2), \\ l_5 = (m_2 * p_3 - m_3 * p_2), \quad l_6 = (m_2 * n_3 - m_3 * n_2)$$

Задаём одну из координат, например, $y_4 = 0$, и тогда оставшиеся две неизвестные находим путём решения системы двух уравнений (рисунок 3):

$$z_4 = (b_1 - d_1 - d_3 * l_6 / l_4 + b_3 * l_3 / l_1 - b_2 * l_2 / l_1 + d_2 * l_5 / l_4) / (l_3 / l_1 - l_6 / l_4) \\ x_4 = b_1 - b_2 * l_5 / l_4 - z_4 * l_6 / l_4 + b_3 * l_3 / l_4$$

По известным уравнениям взаимного перпендикуляра и прямой линии находим точку пересечения с координатами $t_1(x_{30}, y_{30}, z_{30})$ для одной линии и с координатами $t_2(x_{20}, y_{20}, z_{20})$ для другой линии по формулам:

$$y_{30} = (d_1 - x_4 - (m_2 * d_2 / n_2) + (m_3 * d_2 / n_3)) / (-(m_2 / n_2) + (m_3 / n_3)); \\ x_{30} = x_4 + ((y_{30} - y_4) * m_3 / n_3); \\ z_{30} = z_4 + ((y_{30} - y_4) * p_3 / n_3);$$

$$y_{20} = (b_1 - x_4 - (m_1 * b_2 / n_1) + (m_3 * y_4 / n_3)) / (-(m_1 / n_1) + (m_3 / n_3)); \\ x_{20} = x_4 + ((y_{20} - y_4) * m_3 / n_3); \\ z_{20} = z_4 + ((y_{20} - y_4) * p_3 / n_3).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приводится пример нахождения взаимного перпендикуляра двух векторов и точек пересечения. Для примера рассмотрим следующий набор входных данных:

1. Прямоугольные координаты точки А на поверхности Земли, соответствующие геодезическим координатам (-13.3; 290.6; 0) на дату 1994/1/10/: 15 час 54 мин 5 сек:
 $(b_1, b_2, b_3) = (1022.582; -6120.107; -1481.162)$ км
2. Геодезические координаты, задающие местоположение Луны:
 $(-20.687; 285.224)$
3. Проекция линейной скорости точки А в суточном вращении в прямоугольной системе координат $V(t) = (m_1; n_1; p_1) = (446.28560; 74.55120; 0.00000)$ м

4. Прямоугольные координаты точки С:

$$r_c(t) = (d1, d2, d3) = (311.3; -4283.7; -1621.8) \text{ км}$$

5. Коэффициенты вектора угловой скорости W_c :

$$(m_2; n_2; p_2) = (0.079; 0.358; -0.930)$$

Расчётным путём вычисляем радиус-вектор $|s_4s_3|$:

$$(m, n, p) = (-0.1548; 0.9264; 0.3433)$$

$$(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6) = (0.9848; -0.1169; 0.1287; 0.0566; 0.3386; 0.9392)$$

$$(x_4; y_4, z_4) = (-516.1; 0.0; 817.8) \text{ км}$$

$$T.s_4(t) = (x_{20}, y_{20}, z_{20}) = (247.8; -4570.7; -875.9) \text{ км}$$

$$T.s_3(t) = (x_{30}, y_{30}, z_{30}) = (520.8; -6204.0; -1481.2) \text{ км}$$

В качестве примера расчёта приливных сил используем предыдущий набор данных. Проекция линейной скорости точки С при вращении барицентра относительно точки центра Земли в прямоугольной системе координат:

$$V_2(t) = (m_2; n_2; p_2) = (12.71494; 0.03979; 1.09701) \text{ м}$$

Расчётным путем по аналогии с предыдущим пунктом вычисляем радиус-вектор $|s_5s_2|$:

$$(m, n, p) = (-0.0337; 0.9337; 0.3564)$$

$$(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6) = (0.9963; -0.0031; 0.0860; -0.0791; 0.3580; 0.9304)$$

$$(x_4; y_4, z_4) = (89.4; 0.0; 794.4) \text{ км}$$

$$T.s_5(t) = (x_{20}, y_{20}, z_{20}) = (253.3; -4545.8; -940.8) \text{ км}$$

$$T.s_2(t) = (x_{30}, y_{30}, z_{30}) = (310.2; -6122.3; -1542.6) \text{ км}$$

Расчётным путем по аналогии с предыдущим вычисляем радиус-вектор $r_3(t) = |s_6s_1|$:

$$(m, n, p) = (0.9822; 0.1316; 0.1342)$$

$$(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6) = (0.1705; 0.9244; -0.3412; -0.0982; 0.2496; 0.9634)$$

$$(x_4; y_4, z_4) = (33642.6; 0.0; 3429.0) \text{ км}$$

$$T.s_6(t) = (x_{20}, y_{20}, z_{20}) = (269.5; -4472.5; -1131.1) \text{ км}$$

$$T.s_1(t) = (x_{30}, y_{30}, z_{30}) = (736.8; -4409.9; -1067.3) \text{ км}$$

$$\text{В результате } r_3(t) = s_6(t) - s_1(t) = (467.316 \quad 62.628 \quad 63.854) \text{ км}$$

Для нахождения приращений скоростей и радиус-векторов определяем прямоугольные координаты точки А на момент времени 15 час 54 мин 5 сек + 1 сек

$r(t+dt) = (1023.0; -6120.0; -1481.2) \text{ км}$, проекция линейной скорости точки А в суточном вращении $V(t+dt) = (446.28016; 74.58374; 0.00000) \text{ м}$, проекция линейной скорости точки С при вращении барицентра относительно точки центра Земли в прямоугольной системе координат:

$$V_2(t+dt) = (12.71494; 0.03980; 1.09702) \text{ м}$$

Прямоугольные координаты точки С:

$$r_c(t+dt) = (311.276; -4283.721; -1621.828) \text{ км}$$

Повторяем расчёт расположения точек (s_3, s_4) (s_5, s_2) для нового положения точки А:

$$T.s_4(t+dt) (x_{20}, y_{20}, z_{20}) = (247.8; -4570.7; -875.9) \text{ км}$$

$$T.s_3(t+dt) (x_{30}, y_{30}, z_{30}) = (520.6; -6204.0; -1481.2) \text{ км}$$

$$T.s_6(t+dt) (x_{20}, y_{20}, z_{20}) = (253.3; -4545.7; -940.9) \text{ км}$$

$$T.s_1(t+dt) (x_{30}, y_{30}, z_{30}) = (310.2; -6122.3; -1542.7) \text{ км}$$

Находим радиус-вектор $r_1(t) = |s_4s_3|$, вычитая из координат точки $s_3(t)$ координаты точки $s_4(t)$:

$$r_1(t) = |s_4s_3| = (272.953; -1633.244; -605.226) \text{ км}$$

Находим радиус-вектор $|s_4s_3|(t+dt)$, вычитая из координат точки $s_3(t+dt)$ координаты точки $s_4(t+dt)$:

$$r_1(t+dt) = |s_4s_3|(t+dt) = (272.827; -1633.224; -605.229) \text{ км}$$

Находим приращение вектора:

$$dr_1/dt = r_1(t+dt) - r_1(t) = (-0.126 ; 0.020 ; -0.003) \text{ км}$$

Находим радиус-вектор $r_2 = |s_5s_2|$, вычитая из координат точки $s_2(t)$ координаты точки $s_5(t)$:

$$r_2(t) = |s_5s_2| = (56.855; -1576.574 ; -601.804) \text{ км}$$

Находим радиус-вектор $|s_5s_2|(t+dt)$, вычитая из координат точки $s_5(t+dt)$

координаты точки $s_2(t+dt)$:

$$r_2(t+dt) = |s_5s_2|(t+dt) = (56.856; -1576.524 ; -601.785) \text{ км}$$

Находим приращение вектора

$$dr_2/dt = r_2(t+dt) - r_2(t) = (0.001; 0.050 ; 0.019) \text{ км}$$

Вычисляем приращение скоростей:

$$dV_2/dt = V_2(t+dt) - V_2(t) = (0.00000; 0.00001; 0.00001) \text{ м}$$

Вычисляем приращение скоростей:

$$dV_1/dt = V_1(t+dt) - V_1(t) = (-0.00544; 0.03254; 0.00000) \text{ м}$$

По формуле (1) вычисляем по координатным осям значение момента сил в точке А относительно оси W_c (таблица 1).

Таблица 1. Координаты вектора момента сил

Table 1. Coordinates of the moment of force vector

	$v_2 * r_1'$	$V * r_1'$	$V * r_2'$	$V_2 * r_2'$	$r_1 * V_2'$	$r_2 * V_2'$	$r_1 * V'$	$r_2 * V'$	всего
$Mw_1(x)=$	0.02	0.24	-1.44	0.05	-0.02	-0.01	19.70	19.58	38.13
$Mw_1(y)=$	0.10	-1.42	8.61	0.24	-0.00	-0.00	3.29	3.27	14.09
$Mw_1(z)=$	-0.25	-18.08	-22.26	-0.64	0.00	0.00	0.00	-6.72	-47.94

Таким образом, момент сил относительно оси W_c , действующий на единичную массу, будет представлен вектором с координатами $Mw_c = (38.13; 14.09; -47.94) * 1000$ НМ.

Найдём радиальную составляющую приливных сил. Коэффициенты направления радиальной силы совпадают с прямоугольными координатами точки А (1022.582; -6120.107; -1481.162) км. Поделим на модуль радиус-вектора, равный 6379.3 км, что даёт направляющие косинусы радиальной силы (0.160, -0.959, -0.232).

Радиус-вектор $r_3(t) = (467.316 \quad 62.628 \quad 63.854)$ км. Поделив на модуль $|r_3(t)| = 475.798$ км, получим направляющие косинусы плеча $r_3(t) = (0.982, 0.132, 0.134)$. Момент радиальной силы будет ориентирован в направлении векторного произведения плеча и радиальной силы $Y = (-0.098; -0.250; 0.963)$. Скалярно перемножив вектор Mw_c на найденное направление Y , получим ортогональную проекцию момента сил, равную $(-0.098 * 38.13 + -0.250 * 14.09 + -47.94 * 0.963) = -53.442$ кНМ. Поделив на модуль радиус-вектора $|r_3(t)|$, получим оценку радиальной силы $Fr = -53.442 \text{ кНМ} / 475.798 \text{ км} = -0.112 \text{ Н}$.

Поскольку модуль момента сил $|Mw_c| = 62.850 * 1000$ НМ, то на тангенциальные приливные силы остаётся величина ортогональной составляющей момента $M_t = 9.408 * 1000$ НМ (62.850 - 53.442). Это означает, что практически весь возникший момент приливных сил участвует в радиальном перемещении водной среды.

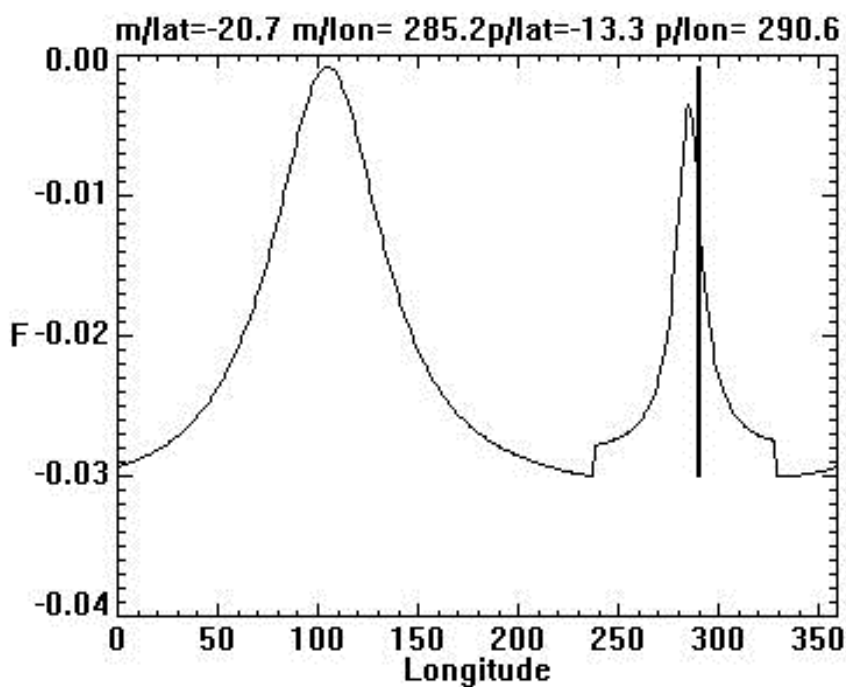


Рисунок 4. Расчёт приливных сил на геодезической широте $13,3^{\circ}$ ($13,3^{\circ}S$) и геодезической долготе с шагом в 1° на дату 1994/1/10/: 15 час 54 мин 5 сек
Figure 4. Calculating tidal forces at the latitude of 13.3° ($13.3^{\circ}S$) and longitudes from 0 to 360 with the step 1° as of 1994/1/10/: 15h 54m 5s

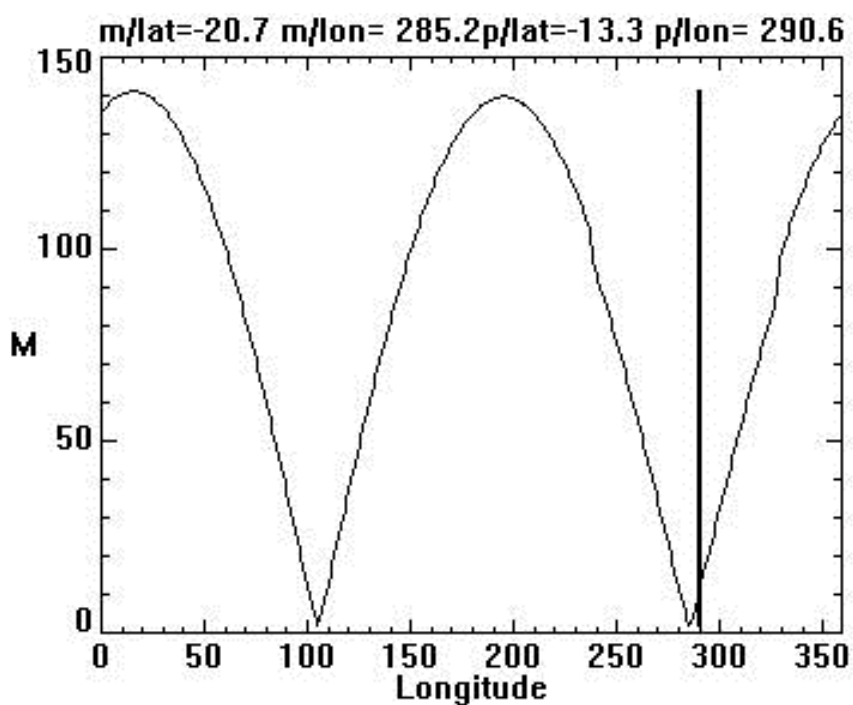


Рисунок 5. Расчёт ортогональной проекции момента приливных сил на геодезической широте $-13,3^{\circ}$ ($13,3^{\circ}S$) и геодезической долготе с шагом в 1° на дату 1994/1/10/: 15 час 54 мин 5 сек
Figure 5. Calculation of the orthogonal projection moment of the tidal forces at the latitude of -13.3° ($13.3^{\circ}S$) and longitude from 0 to 360 with the step 1° as of 1994/1/10/: 15h 54m 5s

ВЫВОДЫ

1. В работе приведены процедуры для численного расчёта кинематических параметров приливных воздействий, таких как силы и моменты сил.
2. Расчёты основываются на методах аналитической геометрии в трёхмерном пространстве. Объектами геометрии являются точка, плоскость и линия.
3. Точки на поверхности сфероида на определённый период времени рассчитываются с применением астрономической библиотеки, а расположение объектов вне поверхности Земли – с применением набора данных эфемерид.
4. Приливные явления удобно исследовать с применением графического материала, отображающего кинематические параметры приливных сил, моментов сил и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эткин В.А. Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. – Саратов: СГУ, 1991. – 168 с.
2. Сокол-Кутыловский О.Л. О силах гравитационного взаимодействия // М.: Академия Тринитаризма. – Эл № 77-6567, публ. 13569, 18.07.2006.
3. Landsman, W.B. The IDL Astronomy User's Library // Astronomical Data Analysis Software and Systems IV, ASP Conference Series. – Vol. 77, 1995. – P. 437.
4. Standish E.M. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405 // Jet Prop Lab Technical Report. IOM 312. F-048. – 1998.

Oleg V. Zenkin¹

CALCULATION AND MAPPING OF TIDAL LUNAR IMPACTS ON THE EARTH SPHEROID

ABSTRACT

The major method used in this study is processing of data arrays in order to obtain statistical data. Statistical methods of research use the parameter of frequency to characterize the recurrence of events in time and space. Clearly, if a phenomenon (factor) is accompanied by other events, it is possible that it is somehow related with an event. It may be a cause of the event as well. In such a case, the event itself is treated as a consequence. Even by a cursory examination, it has been discovered that there is an undoubted connection between major earthquakes and some particular configurations of the planets, Moon and Sun, emerging on the celestial sphere, due to high frequency of both these events being present at the same time. Lunar and solar tides, earthquakes, parades of planets are those cosmic events whose impact is clearly obvious on Earth. However, parts of Earth's surface where tides occur are involved in the complex movement caused by the rotations of Moon around Earth, Earth around its axis and Sun, and this complex movement is often not taken into account by the people who study earthquakes. Earth is involved in the motion of the gyroscopic type, which causes a wide range of different physical fields and influences, such as gyroscopic and Coriolis forces, centrifugal and centripetal forces, gravitational forces, moments of inertia, etc.

Tidal lunar impacts include such kinematic characteristics as kinetic moment, moment of forces, tidal forces, kinetic energy, etc. The subject of the article is calculation of these effects for points (sections) on the Earth spheroid's surface in the coordinate system associated with center of Moon and Earth masses called barycenter. Various methods for calculating tidal lunar impacts can be used, depending on the chosen coordinate system and calculating method. In particular, the work presents the calculations of moments of forces relative to the axis (line) or the center (point).

¹ Oil and Gas Technical Institute of Sakhalin State University; Russia, 693008, Yuzhno-Sakhalinsk, Lenin st, 290;
e-mail: mazur_i@mail.ru

KEYWORDS:

kinetic moment, moment of force, ephemeris, barycenter, radial projection, orthogonal component

REFERENCES

1. Etkin V.A. *Termodinamika neravnovesnykh processov perenosa i preobrazovanya energii* [Thermodynamics of nonequilibrium processes of transfer and conversion of energy], Saratov: SGU, 1991, 168 p. (in Russian).
2. Sokol-Kutylovsky O.L. *O silakh gravitacionnogo vzaimodeistviya* [On the strength of the gravitational interaction] Moscow: Akademya Trinitarizma, El No 77-6567, publ. 13569, 18.07.2006. (in Russian).
3. Landsman W.B. The IDL Astronomy User's Library, Astronomical Data Analysis Software and Systems IV, ASP Conference Series, Vol. 77, 1995, p. 437.
4. Standish E.M. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405, Jet Prop Lab Technical Report, IOM 312, F-048, 1998.

УДК 911.2:528.7:551.32

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-228-242

А.Д. Китов¹, В.М. Плюснин², Е.Н. Иванов³, Д.А. Батуев⁴, С.Н. Коваленко⁵

**ИНТЕРНЕТ-ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ
ЛЕДНИКОВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

АННОТАЦИЯ

Рассматривается методика формирования баз данных (БД) ледников юга Восточной Сибири и представление их в общем доступе по Интернет. Технология заключается в векторизации исходных разновременных и содержательных пространственных данных на основе ГИС-технологий и формирования соответствующих БД, отражающих пространственно-временное изменение нивально-гляциальных образований. Результаты ГИС-проектирования представлены на сайте ИГ СО РАН и с помощью интернет-сервиса ArcGIS-online на общедоступной карте. Картографические базы данных представляют динамику нивально-гляциальных образований для трёх временных срезов: начало XX столетия (если были данные), его середина (по каталогам ледников и топографическим картам) и начало XXI века (по космическим снимкам и натурным исследованиям). Графические объекты представлены в виде точечных ГИС-тем, линейных и полигональных. С помощью точечных тем индицируются такие параметры, как центр, нижняя и верхняя границы ледника, по линейным темам определяется длина и периметр ледника, полигональные элементы представляют границы ледника и его площадь. Атрибутивная таблица соответствует международному стандарту World Glacier Inventory (WGI). Для северной Азии на международных порталах контуры ледников представлены условно (эллипсами), а атрибутивные

¹ Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН; 664033, Россия, Иркутск, ул.Улан-Баторская, 1; e-mail: kitov@irigs.irk.ru

² Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН; 664033, Россия, Иркутск, ул.Улан-Баторская, 1; e-mail: plusnin@irigs.irk.ru

³ Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН; 664033, Россия, Иркутск, ул.Улан-Баторская, 1; e-mail: egoryo@bk.ru

⁴ Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН; 664033, Россия, Иркутск, ул.Улан-Баторская, 1

⁵ Иркутский государственный университет; 664003, Россия, Иркутск, ул.Ленина, 3; e-mail: igrug@mail.ru