

applied to latitudes for transition to the new aberration constant, $20''.496$, are given.

To decrease the systematic errors latitudes were smoothed by the chain method. The closing error proved to be $0''.137$. The group corrections are given for transition from the FK3 system to the FK4. 124 normal latitude values were smoothed by the analytical method.

The spectrum of errors was investigated by means of analyzing deviations of the normal latitudes from the smoothed ones. The value $S_c 0''.000110$ was taken as a spectrum characteristic. The amplitude and phase of the annual z -term proved to be unstable.

It was found that the latitude decreases from morning till midnight and then increases again.

СВОБОДНАЯ СУТОЧНАЯ НУТАЦИЯ ЗЕМЛИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ПУЛКОВЕ С 1915 ПО 1928 г.

Я. С. Яцкив

(Главная астрономическая обсерватория АН УССР)

При наличии жидкого сплюснутого ядра оболочка Земли может иметь, кроме чандлеровского движения полюса, еще одну свободную нутацию с периодом около суток. М. С. Молоденский получил точные значения периода этой нутации для двух моделей Земли с жидким ядром. В частности, для второй модели период свободной нутации равен $23^h 56^m 54^s$ звездного времени [1]. Определение параметров свободной суточной нутации из наблюдений имело бы большое значение для уточнения модели внутреннего строения Земли [2, 3]. Благодаря отличию периода нутации от звездных суток можно привлечь для этой цели наблюдения над изменением широты, как это и было сделано в работах [4—7]. Наиболее надежные результаты получил Н. А. Попов. Однако расхождения между отдельными определениями стимулируют новые попытки анализа материалов астрономических наблюдений для изучения свободной суточной нутации Земли. Методика такого анализа различна для разных программ и способов обработки наблюдений широты. Для наблюдений ярких зенитных звезд она описана в работах Н. А. Попова. Здесь отметим только, что в этом случае в последовательности широт, полученных по наблюдениям одной и той же звезды в разные даты, свободная суточная нутация проявляется в виде колебания с периодом $T_1 = 463.52$ звездных суток (з. с.), близким к периоду Чандлера. Поэтому приходится исключать из результатов наблюдений долгопериодические полярные составляющие. Это можно сделать, беря разности широт, полученных из наблюдений двух или нескольких звезд. Такие разности содержат, кроме нутационного, неполярные изменения широты, обусловленные суточными эффектами. Поэтому, например, для разделения годовой неполярной и нутационной волн нужно иметь ряд наблюдений продолжительностью не менее

$$\Delta T = \frac{T_2 T_1}{T_1 - T_2} = 1745 \text{ з. с.},$$

где T_1 и T_2 — периоды нутационной и годовой волн.

Предположим теперь, что наблюдения ведутся каждую ночь в один и тот же момент среднего времени. Тогда в последовательности широт, полученных в разные даты, свободная суточная нутация проявится в виде колебания с периодом $T_0 = 204.03$ средних суток (с. с.). В самом деле, для второй модели М. С. Молоденского период нутации

равен $23^{\circ}52'58^{\circ}.6$ среднего времени. Отсюда находим, что скорость волны за средние сутки $\omega_0 = 361^{\circ}.76443$, чему и соответствует период T_0 . Такое колебание находится вдали от основных периодических составляющих движения полюса и может быть обнаружено в спектре изменений широты. В разностях широт, полученных по вечерним и утренним наблюдениям, также содержится нутационная волна:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{в}} - \varphi_{\text{у}} &= a_0 \cos(\omega_0 t_{\text{в}} + \beta) - a_0 \cos(\omega_0 t_{\text{у}} + \beta) = \\ &= -2a_0 \sin\left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{у}}}{2} \omega_0\right) \sin\left(\frac{t_{\text{в}} + t_{\text{у}}}{2} \omega_0 + \beta\right), \end{aligned} \quad (1)$$

где a_0 — амплитуда свободной нутации,

$t_{\text{в}}, t_{\text{у}}$ — средние моменты вечерних и утренних наблюдений, выраженные в сутках,

β — начальная фаза, отнесенная к средней полночи начальной эпохи наблюдений.

Таким образом, если наблюдения широты ведутся по обычным программам (типа международной) или в постоянные моменты среднего времени, то основным препятствием к определению свободной суточной нутации являются ошибки положений звезд. Предварительно принятая система склонений и собственных движений звезд обычно улучшается на основе самих широтных наблюдений. Это может привести к значительному искажению нутационной волны, которое следует учитывать, приступая к определению ее параметров из обычных широтных наблюдений.

Общая характеристика пулковских наблюдений широты с 1915 по 1928 г.

Из (1) следует, что пулковские наблюдения широты, выполненные по расширенной программе, могут оказаться особенно пригодными для изучения свободной суточной нутации. Выбирая соответствующим образом значения $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{у}}$, можно достичь значительного увеличения амплитуды нутационной волны.

В результате сводной обработки четырех разнородных серий пулковских наблюдений за время 1915—1928 гг. А. К. Король вывел новую систему склонений и собственных движений широтных пар звезд [8]. Поправки склонений вычислялись отдельно для каждой серии по формуле

$$\Delta\delta_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\varphi_j^{\text{н}} - \varphi_0 - \Delta\varphi_j^{\text{в}}), \quad (2)$$

где $\varphi_j^{\text{н}}$ — наблюдаемые широты по i -й паре;

φ_0 — среднее значение широты, полученное по всем парам;

$\Delta\varphi_j^{\text{в}}$ — вычисленные по координатам полюса А. Я. Орлова изменения широты Пулкова.

После вывода поправок к цене оборота винта окулярного микрометра были найдены поправки склонений во втором приближении и образованы для каждой из них средние по четырем сериям наблюдений. Уравнение (2) можно записать в виде

$$\Delta\delta_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j + \overline{\Delta\delta}_i, \quad (3)$$

где z_j — неполярные изменения широты,

$\overline{\Delta\delta}_i$ — истинная поправка склонения i -й пары.

Оценим вклад неполярных изменений широты в каждое значение $\Delta\delta_i$. Так как одна пара по расширенной программе наблюдается около полугода, то, заменяя суммирование интегрированием, вместо (3) получим

$$\Delta\delta_i = \frac{1}{0,5} \int_{-0,25}^{0,25} z(t) dt + \overline{\Delta\delta}_i. \quad (3')$$

Частотная характеристика такого линейного преобразования

$$f_1(\omega) = \frac{1}{\Delta T} \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \cos \omega t dt = \frac{2}{\omega \Delta T} \sin \frac{\omega \Delta T}{2}, \quad (4)$$

где ΔT — продолжительность наблюдений пары.

Тогда для (3') имеем

$$f_1(\omega) = \frac{4}{\omega} \sin \frac{\omega}{4}. \quad (4')$$

Из рис. 1 видно, что преобразование (3') представляет собой низкочастотный фильтр — в $\Delta\delta_i$ вклад колебаний с периодами меньше 0.5 года очень мал. Для годовой неполярной волны $f_1(2\pi) = 0.636$. Свободная суточная нутация проявится в z_j при наблюдениях одной звезды в виде колебания с периодом $T_1 = 463.52$ з. с. Для этого колебания

$$\omega = 1.58\pi, \quad f_1(1.58\pi) = 0.767.$$

Таким образом, в последовательность поправок склонений, найденных из одного годичного цикла наблюдений, неполярные изменения широты и нутационная волна войдут с амплитудами, умноженными на $f_1(\omega)$. Заметим, что в отличие от наблюдений одной звезды в этой последовательности свободная суточная нутация проявляется в виде колебания с периодом $T_0 = 204.03$ з. с.

Операция осреднения поправок склонений для всех лет наблюдений может быть получена линейным преобразованием (5), повторенным $\nu - 1$ раз (ν — число годичных циклов):

$$x'(t) = \frac{1}{2} \left[x\left(t - \frac{T}{2}\right) + x\left(t + \frac{T}{2}\right) \right], \quad (5)$$

где T — период, равный одному году. Частотная характеристика такого преобразования

$$f_2(\omega) = \cos^{\nu-1} \frac{\omega}{2}. \quad (6)$$

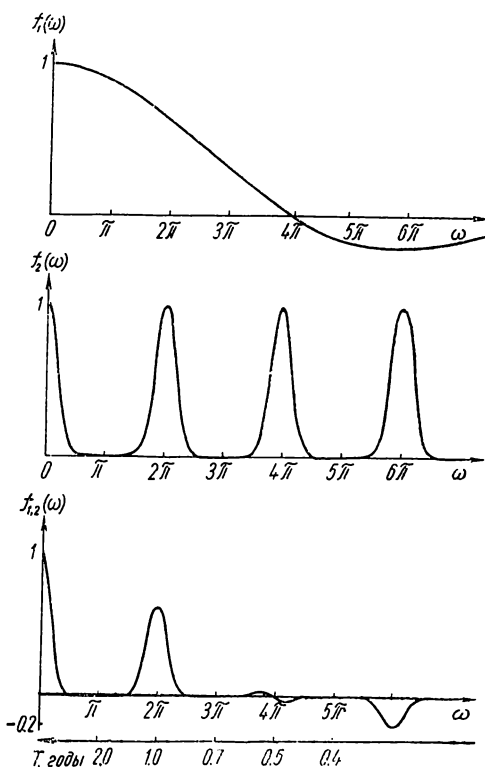


Рис. 1. Частотные характеристики преобразований, применявшихся при выводе поправок склонений широтных пар.

Для годовой неполярной и нутационной волн соответственно

$$f_2(2\pi) = 1, \quad f_2(3.58\pi) = 0.059.$$

Теперь, совмещая (4) и (6), получим частотную характеристику преобразования, примененного А. К. Королем для нахождения поправок склонений:

$$f_{1,2}(\omega) = \frac{4}{\omega} \sin \frac{\omega}{4} \cos^{\nu-1} \frac{\omega}{2}. \quad (7)$$

Вид $f_{1,2}(\omega)$ показан на рис. 1, из которого видно, что в последовательности $\Delta\delta_i$ содержится годовая неполярная волна с амплитудой, умно-

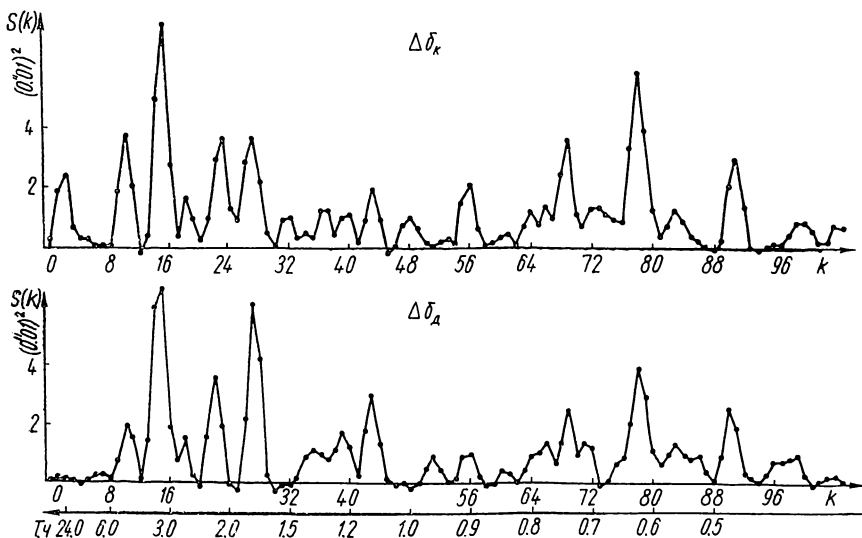


Рис. 2. Спектры мощности поправок склонений, выведенных А. К. Королем ($\Delta\delta_K$) и А. Д. Дроздом ($\Delta\delta_D$).

женной на $f_{1,2}(2\pi) = 0.636$. Для множителя амплитуды свободной суточной нутации находим:

$$f'_{1,2}(\omega_0) = f_1(1.58\pi) f'_2(3.58\pi) = 0.045.$$

В действительности значения $f_{1,2}(\omega)$ и $f'_{1,2}(\omega_0)$ могут несколько отличаться от указанных из-за неравномерности распределения и неодинаковой продолжительности наблюдений пар. Все же очевидно, что в найденных А. К. Королем поправках склонений содержится вклад неполярных изменений, если они существуют в пулковских наблюдениях широты. Это подтверждается расхождением систем склонений А. К. Короля и А. Д. Дрозда*. В разностях $\Delta\delta_K - \Delta\delta_D$ найдена годовая волна [8]:

$$0''.021 \cos(\alpha + 126^\circ), \\ \pm 10 \quad \pm 27$$

которая, как видно из рис. 2, присутствует в поправках склонений, выведенных А. К. Королем. В остальном спектры мощности поправок

* А. Д. Дрозд при выводе поправок склонений использовал предварительную кривую изменения широты, найденную по результатам наблюдений.

склонений очень близки между собой. Заметим, что для оценки спектральной плотности здесь и в дальнейшем использовалась формула [9]

$$S(k) = \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^m \gamma_k B(\tau) \left(1 + \cos \frac{\pi}{m} \tau \right) \cos \frac{k\pi}{m} \tau + B(0) \right], \quad (8)$$

где $B(\tau)$ — вычисленная корреляционная функция для значений $0 \leq \tau \leq m$,
 $(k=0, 1, \dots, m)$
 $\gamma_k = 1/2$ для $k=0$ и $k=m$, $\gamma_k = 1$ для остальных k .

Суточная нутационная волна почти не содержится в последовательности $\Delta\delta_i$. Ее вклад, предполагая $a_0 = 0''.020$, меньше $0''.001$. Следовательно, анализируя мгновенные широты, мы сможем найти неискаженные оценки параметров свободной суточной нутации. Малая мощность спектра поправок склонений в области полугодового периода, по-видимому, свидетельствует о незначительности ошибок склонений такого периода и дает возможность более надежно изучить суточную нутацию из пулковских наблюдений широты.

Спектральный анализ результатов наблюдений широты (I вариант)

А. К. Король предоставил нам неопубликованные мгновенные широты, исправленные за неточность принятых значений цены оборота винта окулярного микрометра, склонений и собственных движений. Мы распределили их по часам среднего времени и выбрали из них две группы — вечернюю и утреннюю. В первом варианте в вечернюю группу включены широты, полученные с начала наблюдений до 22^h30^m , а в

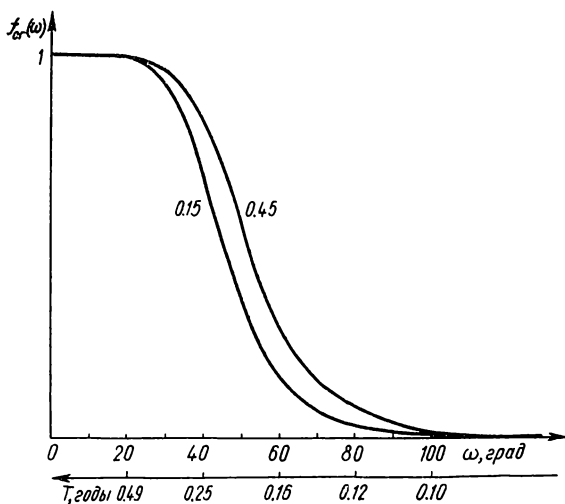


Рис. 3. Частотная характеристика фильтра сглаживания для значений $\epsilon=0.15$ и $\epsilon=0.45$.

утреннюю — с 1^h30^m до конца наблюдений. Затем отдельно по каждой группе находились 10-суточные средние из мгновенных широт. Такие средние сглаживались методом Уиттекера [10]. Частотная характеристика фильтра сглаживания выбрана так, чтобы не искажать гармоники в области периодов, близких к нутационному, т. е. 204.03 с. с. Учитывая, что средний вес нормальных значений p равен 5, мы выбрали $\epsilon_0 = 0.1$, $\epsilon = \epsilon_0 p = 0.5$ (рис. 3). Разности сглаженных 10-суточных средних

значений широт, полученных по вечерней и утренней группам, послужили исходным материалом для изучения свободной суточной нутации. Всего таких разностей оказалось 476. Обозначим их $\Delta\varphi_1$ и оценим изменение амплитуды нутационной волны в $\Delta\varphi_1$ в результате образования:

- средних отдельно по вечерней и утренней группам,
- 10-суточных нормальных значений,
- разностей между средними по вечерней и утренней группам.

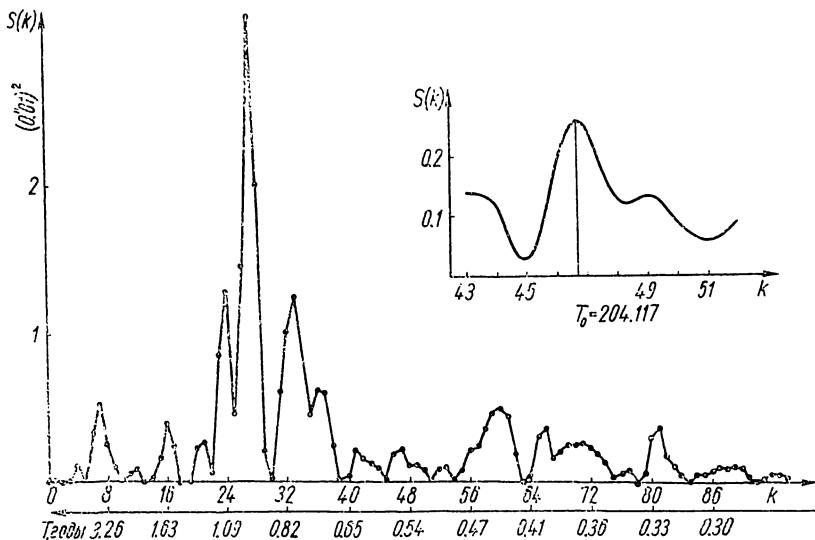


Рис. 4. Спектр мощности разностей широт $\Delta\varphi_1$. В правом верхнем углу отдельно показан пик нутационной волны.

Продолжительность наблюдений вечерней и утренней групп примерно равна 3 ч. Тогда, принимая $\omega_0 \approx 2\pi$, $\Delta T \approx 0.125$ с. с., по (4) находим $f_a(\omega_0) \approx 0.975$. Для вывода нормальных значений применяется также преобразование (4). Здесь $\omega = \frac{2\pi}{204}$, $\Delta T = 10$, $f_b(\omega) = 0.998$. В случае в) частотная характеристика фильтра разностей

$$f_b(\omega) = 2 \sin \omega \frac{\Delta T}{2}.$$

Подставляя значения $\omega_0 = 361^\circ.76$, $\frac{\Delta T}{2} \approx 0.125$ с. с., находим $f_b(\omega_0) = 1.420$. В результате совместного действия преобразований а), б) и в) амплитуда нутационной волны увеличится в $M = 1.382$ раза.

После исключения среднего значения $\overline{\Delta\varphi_1} \approx -0''.036$ мы вычислили спектр мощности разностей с максимальной разрешающей способностью (рис. 4). В интересующей нас области частот обнаруживается небольшой пик спектральной плотности, который можно приписать свободной суточной нутации. Найдем приближенную оценку амплитуды этой нутации, подсчитав значения общей интенсивности пика

$$E_{11} = \sum_{k=46}^{48} S(k) = 0.56 \quad \text{в } (0''.01)^2 \quad (9)$$

и непрерывного спектра

$$E_{II} = \frac{1}{4} \sum_{k=44}^{45} S(k) + \frac{1}{4} \sum_{k=49}^{50} S(k) = 0.08 \quad \text{в } (0''.01)^2; \quad (9')$$

тогда

$$1/2 \alpha^2 = E_n - E_{II} = 0.48 \quad \text{в } (0''.01)^2.$$

Учитывая M , находим истинное значение амплитуды $a_0 \approx 0''.007$.

Оценим теперь величину периода свободной суточной нутации. С этой целью найдены значения $S(k+\Delta k)$ для $\Delta k=0.1$ (см. рис. 4).

Максимум спектральной плотности приходится на значение $T_0 = \frac{2m}{k} = 204.117$. Этому значению T_0 соответствует период свободной суточной нутации $23^h 52^m 58^s.8$ среднего времени или $23^h 56^m 54^s.2$ звездного, почти совпадающий с найденным M . С. Молоденским для его второй модели строения Земли.

Спектральный анализ результатов наблюдений широты (II вариант)

Средние моменты вечерних и утренних наблюдений в первом варианте не остаются постоянными в течение года, а изменяются в соответствии с изменением продолжительности ночи. По этой причине в спектре мощности $\Delta\varphi_1$ должны присутствовать, кроме основного максимума колебания на частоте ω , еще и боковые на частотах $\omega \pm \Omega$. Здесь Ω — частота модулирующего процесса, который описывает изменения средних моментов наблюдений вечерней и утренней групп. Например, из-за годовой вариации продолжительности ночи в разностях $\Delta\varphi_1$ появится годовая волна, если широта изменяется в течение ночи. В спектре мощности $\Delta\varphi_1$ должны обнаруживаться также боковые максимумы свободной суточной нутации, расположенные на частотах

$$\omega_0 + \Omega = \frac{2\pi}{130.9}, \quad \omega_0 - \Omega = \frac{2\pi}{462.2}.$$

Эти особенности спектра легко найти на рис. 4.

Для устранения описанного явления в вечернюю группу во втором варианте были включены только те наблюдения, которые выполнялись с $20^h 30^m$ до $22^h 30^m$, а в утреннюю — с $1^h 30^m$ до $3^h 30^m$. Сохраняя прежнюю систему весов, мы при сглаживании нормальных значений приняли $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \cdot \bar{p} = 0.3$. 90%-ный доверительный интервал для ε , учитывая, что в образовании сглаженного участвует около 10 несглаженных нормальных значений, равен $0.15 < \varepsilon < 0.45$. Для этих значений на рис. 3 показана частотная характеристика фильтра сглаживания. Как видно, проведенное сглаживание не искажает нутационной волны.

По аналогии с первым вариантом находим изменения амплитуды свободной суточной нутации из-за осреднения и образования разностей

$$f_a(\omega_0) = 0.988, \quad f_b(\omega) = 0.998, \quad f_b(\omega_0) = 1.222; \quad M = 1.207.$$

После исключения среднего $\overline{\Delta\varphi_{II}} = -0''.035$ мы вычислили спектр мощности разностей $\Delta\varphi_{II}$, который показан на рис. 5. Сравнивая его со спектром разностей $\Delta\varphi_1$, легко заметить уменьшение спектральной плотности на частотах $\frac{2\pi}{365.2}$, $\frac{2\pi}{130.9}$ и $\frac{2\pi}{462.2}$. Однако в этом варианте пик нутационной волны не разделяется со значительным по величине максимумом спектральной плотности, который соответствует периоду

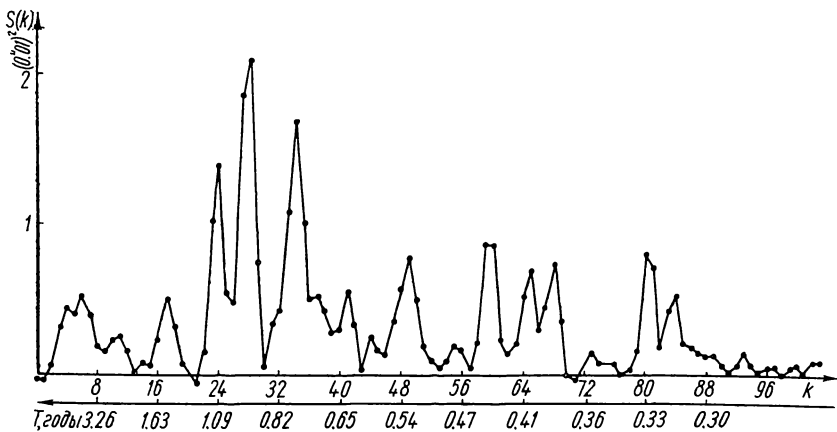


Рис. 5. Спектр мощности разностей широт $\Delta\varphi_{II}$.

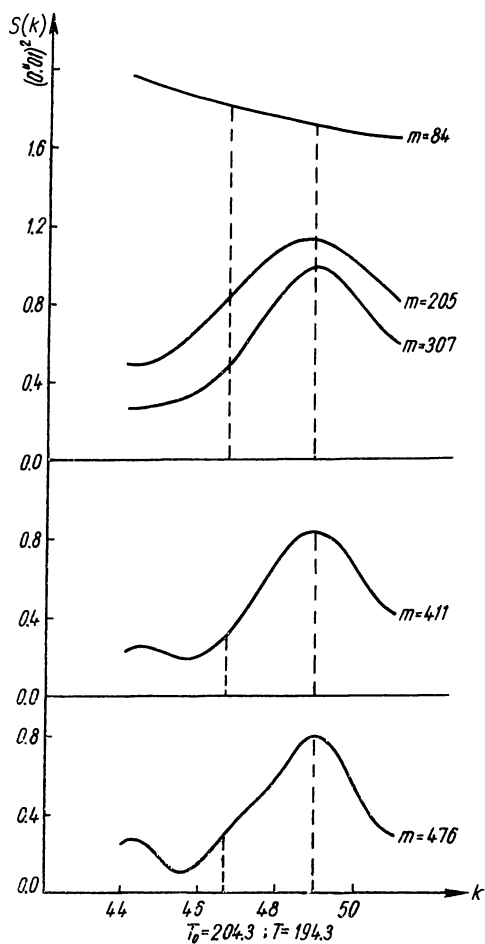


Рис. 6. Часть спектра мощности $\Delta\varphi_{II}$ в области частот, близких к частоте нутации, при различных разрешающих способностях.

194.3 с. с. и на рис. 4 едва заметен. В этой области частот, по-видимому, есть несколько колебаний, так как в противном случае гармоники с периодами $T_0=204.0$ и $T=194.3$ с. с. в спектре с максимальной разрешающей способностью должны разделиться. Для более детального изучения этих колебаний вычислим спектры мощности $\Delta\varphi_{II}$ при различных разрешающих способностях, т. е. с различным числом m_p использованных значений корреляционной функции (рис. 6).

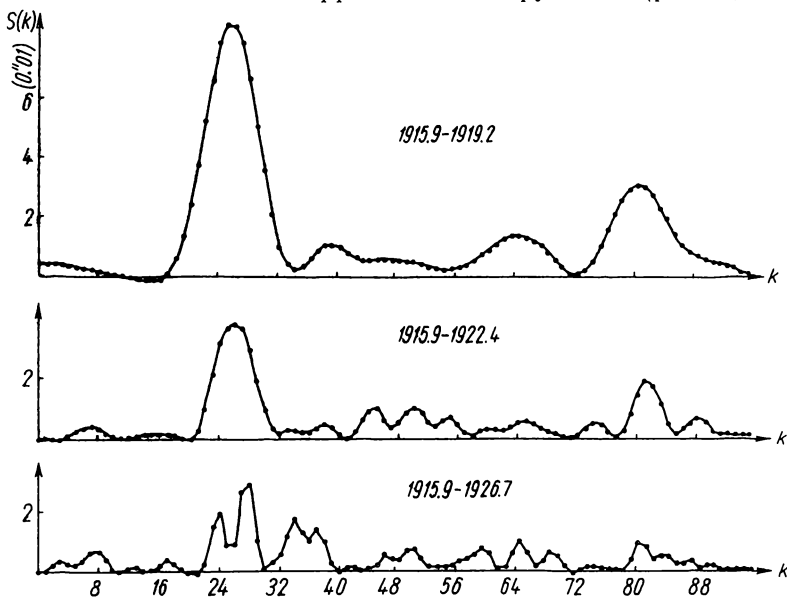


Рис. 7. Текущий спектр мощности разностей широт $\Delta\varphi_{II}$.

Пусть для некоторого значения m_p получены значения $S_p(\omega)$ интересующих нас колебаний. Тогда, согласно [11], в первом приближении можно записать

$$S_p(\omega) m_p = m_q E_{II} + \frac{1}{4} m_p a^2 + \zeta(\omega), \quad (10)$$

$$p = 1, 2, \dots, q,$$

где E_{II} — уровень непрерывного спектра,

$\zeta(\omega)$ — случайные уклонения.

Из решения (10) можно определить отдельно амплитуду гармоники и уровень непрерывного спектра ошибок.

Для интересующих нас колебаний с периодами $T_0=204.0$ и $T=194.3$ с. с., используя данные, представленные на рис. 6, и уравнение (10), находим $a_0^2=0$, $E_{II}=0.34$, $a^2=2.08$, $E_{II}=0.27$ —в $(0''.01)^2$. Суточная нутационная волна таким методом не обнаруживается. Следовательно, ее энергия не превышает найденного уровня непрерывного спектра, значительная высота которого, по-видимому, вызвана неустойчивостью амплитуд и фаз колебаний в этой области частот.

Естественно, возникает вопрос о реальности колебаний с периодом $T=194.3$ с. с. (соответствующий суточный период $23^h 56^m 33^s$ звездного времени). Изучение спектров мощности разностей $\Delta\varphi_I$ и $\Delta\varphi_{II}$ свидетельствует о зависимости амплитуды этого колебания от способа обработки результатов наблюдений. Рассмотрим еще текущий спектр, характеризующий изменения спектра разностей $\Delta\varphi_{II}$ с увеличением продолжительности ряда наблюдений. Из рис. 7 видно, что при обработке материала наблюдений за 1915.9—1919.2 гг. из-за недостаточной

разрешающей способности спектра уровень спектральной плотности почти постоянен. Затем формируются два максимума на частотах основных колебаний. Величина второго из них возрастает после прибавления наблюдений за 1926.7—1928.9 гг., что свидетельствует также о нестационарности колебания с периодом 194.3 с.

Таким образом, спектральный анализ разностей $\Delta\varphi_I$ и $\Delta\varphi_{II}$ указывает на существование в интересующей нас области частот, по крайней мере, двух колебаний, обладающих флуктуациями амплитуды и фазы. При этом уровень спектральной плотности этих флуктуаций сравним с пиком нутационной волны. На основании анализа наблюдений одной широтной станции трудно судить о реальности обнаруженных изменений спектра в области частот, близких к частоте суточной нутации. Они могут быть следствием ошибок наблюдений широты.

Определение параметров свободной суточной нутации

Более точную оценку амплитуды и фазы свободной суточной нутации получим по несглаженным разностям широт, выведенным по вечерним и утренним наблюдениям. С целью уменьшения объема вычислений мы разбили все вечерние и утренние наблюдения на две 2-часовые группы, средние моменты наблюдений которых

$$t_{1в} = 21^h.5, \quad t_{2в} = 19^h.5, \quad t_{1у} = 2^h.5, \quad t_{2у} = 4^h.5.$$

Исходным материалом для дальнейшего анализа послужили разности средних значений соответствующих групп. Всего оказалось разностей первого типа $\Delta\varphi_1 = 511$, а второго $\Delta\varphi_2 = 186$. Представим теперь их в виде

$$\Delta\varphi = z + x \sin \omega_0 t + y \cos \omega_0 t + v(t), \quad (11)$$

где z , $x = a \cos \beta$, $y = a \sin \beta$ — неизвестные величины, $v(t)$ — случайная функция.

С этой целью, принимая за начальную эпоху 0^h местного среднего времени 1 декабря 1915 г., для каждого значения $\Delta\varphi$ вычислялись фазы $\omega_0 t$. Затем все разности были сгруппированы по фазе в 30-градусные зоны и найдены средние по каждой зоне, которым назначались веса, пропорциональные количеству наблюдений. Из решения по способу наименьших квадратов условных уравнений (11), составленных для этих средних, получены результаты, которые приведены в таблице. Данные этой таблицы подтверждают высказанное выше предположение о неустойчивости нутационного колебания и значительности случайной составляющей.

(в 0".01)

№ ряда	Годы	Тип разностей	z	x	y	σ_z	σ_x	σ_y
1	1915—1918	$\Delta\varphi_1$	-5.81	+3.284	+1.720	+0.62	+0.82	+0.96
2	1919—1921	$\Delta\varphi_1$	-4.75	-1.049	-2.940	+1.65	± 2.31	+2.64
3	1922—1924	$\Delta\varphi_1$	-6.19	+2.067	-1.583	+1.60	+2.27	+2.25
4	1925—1928	$\Delta\varphi_1$	-3.00	+0.978	+1.138	+0.57	+0.79	+0.85
5	1915—1928	$\Delta\varphi_1$	-4.56	+1.221	-0.226	+0.30	+0.41	+0.45
6	1915—1928	$\Delta\varphi_2$	-4.34	+1.994	+0.222	+1.02	+1.35	+1.41

Действительно, найдем 90%-ный доверительный интервал x и y для первого ряда наблюдений $1.78 < x < 4.78$, $-0.04 < y < 3.48$. В этот интервал не попадают значения x и y , полученные по остальным трем рядам. К тому же ширина 90%-ного доверительного интервала x и y , найденных по наблюдениям второго и третьего рядов, в два раза боль-

ше ширины такого же интервала неизвестных, определенных по наблюдениям двух других рядов.

Опуская значения постоянного члена, данные таблицы представим в следующем виде:

1) $0''.037 \sin(\omega_0 t + 28^\circ)$ ± 9	± 14	4) $0''.015 \sin(\omega_0 t + 49^\circ)$ ± 8	± 31
2) $0''.031 \sin(\omega_0 t + 250^\circ)$ ± 26	± 48	5) $0''.012 \sin(\omega_0 t + 350^\circ)$ ± 4	± 19
3) $0''.026 \sin(\omega_0 t + 323^\circ)$ ± 23	± 51	6) $0''.013 \sin(\omega_0 t + 7^\circ)$ ± 9	± 27

Для приведения последнего выражения к системе разностей $\Delta\varphi_1$ учтен множитель амплитуды 0.661 и соответствующим образом исправлены ошибки σ_a и σ_p . Среднее весовое из независимых определений 5) и 6) равно

$$0''.012 \sin(\omega_0 t + 353^\circ). \quad (12)$$

$$\pm 4 \quad \pm 19$$

Если учесть, что нутационная волна уверенно определяется только по наблюдениям за время 1915—1918 и 1925—1928 гг., и взять среднее из 1) и 4), то получим

$$0''.025 \sin(\omega_0 t + 34^\circ). \quad (13)$$

$$\pm 6 \quad \pm 13$$

Чтобы привести эти результаты к первоначальной волне свободной суточной нутации, которая присутствует в наблюдениях Пулковка, следует учесть образование

- а) 2-часовых средних значений по вечерней и утренней группам,
- б) средних по 30-градусным зонам,
- в) разностей типа $\Delta\varphi_1$.

Пользуясь описанными приемами, находим окончательный амплитудный множитель $M=1.193$. Тогда в соответствии с (1) для (12) и (13) имеем:

$$0''.010 \cos(\omega_0 t + 353^\circ)$$

$$\pm 3 \quad \pm 17$$

$$0''.021 \cos(\omega_0 t + 34^\circ)$$

$$\pm 5 \quad \pm 14$$

Выводы

По наблюдениям одной широтной станции трудно судить, реально ли обнаруженное изменение амплитуды и фазы нутационной волны. По этой причине окончательным будем считать выражение, полученное по всему материалу наблюдений:

$$0''.010 \cos(\omega_0 t + 353^\circ).$$

$$\pm 3 \quad \pm 17$$

Сравним теперь полученные нами результаты с данными Н. А. Попова, выведенными из анализа наблюдений ярких зенитных звезд в Полтаве. Значения периода свободной суточной нутации в обоих случаях хорошо согласуются с теоретическим, найденным М. С. Молоденским для второй модели строения Земли. Н. А. Попов также определил несколько значений амплитуды нутации в зависимости от интервала наблюдений. Однако каждое из них почти в два раза больше приве-

денного нами среднего результата. Например, для наблюдений ярких зенитных звезд за 1939—1963 гг. в [5] дано

$$0''.020 \cos(\Theta t + 106^\circ). \\ \pm 4 \qquad \qquad \pm 10$$

Начальная фаза 106° относится к 0^h местного звездного времени Полтавы 1 июня 1939 г. Чтобы привести нашу начальную фазу к этой же эпохе, нужно учесть изменения фазы

а) за время с 1 декабря 1915 г. по 1 июня 1939 г.

$$\Delta\beta_1 = +23^\circ,$$

б) за время от средней полночи 1 июня до 0^h звездного времени той же даты $\Delta\beta_2 = +113^\circ$.

Поскольку полюс вследствие суточной нутации движется по ходу часовой стрелки, то разность долгот Полтавы и Пулковы можно не учитывать. Тогда начальная фаза найденной нами нутационной волны, отнесенная к 0^h местного звездного времени 1 июня 1939 г., равна 129° , что в пределах точности совпадает с результатом Н. А. Попова.

Таким образом, результаты анализа широтных наблюдений Пулково за 1915—1928 гг. подтверждают наличие свободной суточной нутации Земли. Вопрос о стационарности этой нутации пока остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молоденский М. С., Крамер М. В. Земные приливы и нутация Земли. Изд-во АН СССР, 1961.
2. Парийский Н. Н. — В сб.: Вращение Земли. Изд-во АН УССР, 1963, 12—17.
3. Парийский Н. — АЖ, 1963, 40, 3, 556.
4. Попов Н. А. — АЖ, 1963, 40, 3, 553—555.
5. Попов М. А. — ДАН УРСР, 2, 1965, 196.
6. Thomas D. V. — Nature, 1964, 201, 4918.
7. Кулагин С. Г., Ковбасюк Л. Д. — АЖ, 1964, 41, 4, 758—759.
8. Король А. К. — Труды Полтавской гравиметрической обсерватории, 3. Изд-во АН УССР, 1950, 162—242.
9. Глаголева И. И., Яцкив Я. С. — В сб.: Анализ результатов широтных наблюдений. «ФАН» Узб. ССР, 1966, 8—16.
10. Федоров С. П., Глаголева И. И. — ДАН УРСР, 1962, 4, 473—477.
11. Pazzen E. — Proc. Symposia in applied math. XVI, New York, 1964, pp. 221—246.

FREE DIURNAL NUTATION OF THE EARTH BASED ON OBSERVATIONS AT PULKOVO FROM 1915 to 1928

Ya. S. YATSKIN

Summary

The author discusses possibility of studying free diurnal nutation of the Earth using customary latitude observations. He gives the results deriving the parameters of this nutation based on the observation at Pulkovo from 1915 to 1928. The period of free diurnal nutation thus obtained is in a good agreement with a theoretical one ($23^h56^m54^s$ sidereal time) calculated by M. S. Molodensky for his second model of the Earth constitution.

The essential changes of the amplitude and phase of the nutation are revealed. The average value of the amplitude for the series of observation under consideration equals to $0''.010$.