

УДК 521.16

Определение чисел Лява по результатам земноприливных наблюдений в регионе Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ)

В. Г. Баленко, Б. И. Перцев

Определены числа Лява по результатам земноприливных наблюдений в регионе Днепровско-Донецкой впадины. Оценена их погрешность. Проведено сравнение найденных чисел Лява с ранее полученными значениями по результатам измерений скорости вращения Земли, из лазерных наблюдений искусственных спутников Земли и экстензометрических исследований.

DETERMINATION OF THE LOVE NUMBERS FROM THE EARTH-TIDE OBSERVATIONS IN THE REGION OF THE DNIEPER-DONETS BASIN, by Balenko V. G., Pertsev B. P.— The Love numbers are determined and their accuracy evaluated from the Earth-tide observations in the region of the Dnieper-Donets Basin. The obtained values of the Love numbers are compared with the results previously found from the analysis of variations in the rate of the Earth's rotation, from laser ranging of artificial satellites as well as from extensometric observations.

С 1963 по 1981 г. Полтавская гравиметрическая обсерватория выполняла земноприливные исследования в ДДВ в целях определения амплитуд и фаз волн упругого прилива, представительных для территорий размерами в сотни километров. Получены параметры γ и $\Delta\varphi$ на семи наклономерных станциях по профилю Киев — Артёмовск [1, 8, 13] и параметры δ и $\Delta\varphi$ из наблюдений вариаций силы тяжести в Полтаве [3, 4]. Одна из задач этих исследований — разработка методики наклономерных и гравиметровых наблюдений для получения экспериментальных данных, которые могли бы быть использованы для определения глобальных значений чисел Лява, представительных для всего земного шара. Земноприливные наблюдения удобны для этого, поскольку они позволяют вычислять значения чисел Лява непосредственно без каких-либо вспомогательных предположений

$$h = 5 - (3\gamma + 2\delta), \quad k = 4 - 2(\gamma + \delta). \quad (1)$$

Поэтому интересно сравнить числа Лява, полученные с использованием региональных земноприливных параметров для ДДВ, с их теоретическими аналогами. Предварительно параметры γ и δ следует очистить от влияния всех известных косвенных эффектов. В нашем случае это эффекты полости, топографии и влияния дальних зон океанического прилива.

В табл. 1 помещены параметры γ и $\Delta\varphi$ для наиболее точно определяемой волны M_2 , полученные на наклономерных станциях профиля Киев — Артёмовск, до и после введения упомянутых поправок. Эффектом полости могли быть возмущены результаты наблюдений на наклономерных станциях Карло-Либкнехтовск и Киев. Нами здесь используются только те, которые заведомо не содержат искажений этого вида [5].

По условиям рельефа эффект топографии мог быть существенным на станциях Киев, Березовая Рудка, Покровская Багачка и Полтава—Судневка. На трех последних он был оценен, и в параметры γ и $\Delta\varphi$ введены соответствующие поправки [2] (табл. 1). К сожалению, для станции Киев эффект топографии вычислить не удалось.

Из выполненных в Полтаве наблюдений приливных вариаций силы тяжести для определения чисел Лява целесообразно использовать только наиболее точные, полученные в период 1980—1981 гг. [3] (табл. 2).

Поправки за косвенный эффект морских приливов, учтенные в данных таблиц 1 и 2, были рассчитаны по глобальным котидальным картам Швидерского [15]. Эти карты построены на основе деления земной сферы на одноградусные трапеции с учетом взаимодействия земных и морских приливов. В отличие от большинства прежних глобальных карт котидальные карты [15] охватывают и Северный Ледовитый океан. Приливы в Средиземном море, не описанные на этих картах в частоте волны M_2 , были

учтены дополнительно по карте Кьяруттини [14]. Однако ввиду небольших амплитуд морских приливов и сравнительной удаленности от рассматриваемых земноприливных станций приливы Средиземного моря ощутимого эффекта не оказали, так как изменили окончательные результаты не более чем на 0.2 %.

Таблица 1. Параметры упругого прилива на станциях профиля Киев—Артемовск для волны M_2

Станция	Север—Юг			
	1		2	
	γ	$\Delta\phi$, град	γ	$\Delta\phi$, град
Киев	0.704 ± 0.026	$+1.6 \pm 2.3$	0.717	$+2.0$
Березовая Рудка	0.712 ± 0.005	-1.2 ± 0.8	0.714	-0.8
Покровская Багачка	0.684 ± 0.008	-1.0 ± 0.6	0.667	-0.3
Полтава—Судиевка	0.681 ± 0.003	$+1.1 \pm 0.2$	0.683	$+1.1$
Шевченково	0.699 ± 0.008	$+0.6 \pm 1.0$	0.709	$+0.6$
Катериновка	0.689 ± 0.009	-1.1 ± 0.9	0.699	-1.1
Карло-Либкнехтовск	0.688 ± 0.003	-0.3 ± 1.3	0.697	-0.5
Среднее векторное	0.6940 ± 0.0048	0.0 ± 0.4	0.6979 ± 0.0046	$+0.1 \pm 0.2$

Станция	Запад—Восток			
	1		2	
	γ	$\Delta\phi$, град	γ	$\Delta\phi$, град
Киев	0.718 ± 0.046	-5.5 ± 2.5	0.694	-2.8
Березовая Рудка	0.718 ± 0.005	-4.2 ± 0.5	0.697	-1.7
Покровская Багачка	0.717 ± 0.008	-4.9 ± 0.7	0.690	-2.8
Полтава—Судиевка	0.717 ± 0.002	-3.6 ± 0.2	0.697	-1.3
Шевченково	0.710 ± 0.007	-4.2 ± 1.1	0.693	-2.0
Катериновка	0.714 ± 0.006	-0.5 ± 0.5	0.699	$+1.7$
Карло-Либкнехтовск	0.718 ± 0.003	-1.1 ± 1.4	0.704	$+0.9$
Среднее векторное	0.7161 ± 0.0018	-3.5 ± 0.7	0.6960 ± 0.0030	-1.1 ± 0.4

Примечание. Параметры: 1 — наблюдаемые, 2 — с поправкой за топографию и оксанический прилив.

Таблица 2. Параметры основных приливных волн δ и $\Delta\phi$ на станции Полтава

Волна	До введения поправок за прилив в океане		После введения поправок за прилив в океане	
	δ	$\Delta\phi$, град	δ	$\Delta\phi$, град
M_2	1.1749 ± 0.0010	-0.47 ± 0.05	1.1574	-0.47
S_2	1.1668 ± 0.0022	-0.77 ± 0.11	1.1551	-0.48
O_1	1.1521 ± 0.0021	-0.13 ± 0.11	1.1554	-0.27
K_1	1.1319 ± 0.0014	-0.24 ± 0.07	1.1337	-0.30

Примечание. В данные введены поправки за инерцию, эллипсоидальную нормаль и вынужденную нутацию.

Расчет влияния морских приливов на земноприливные наблюдения проводился по методике [9] путем суммирования эффектов отдельных площадок, на которые была разделена земная сфера. Соответствующие функции Грина, описывающие влияние компонентов косвенного эффекта, обусловленных деформацией Земли и ее гравитационного поля, были рассчитаны на основе нагрузочных чисел Лява для земной модели № 508 Гильберта и Дзивонского [10]. Поскольку в котидальных картах Швидерского обнаружено небольшое нарушение закона сохранения масс приливных вод, то для его

учета в карты были внесены небольшие поправки, пропорциональные амплитудам приливных волн в каждой одноградусной трапеции. Эти исправленные котидальные параметры и послужили исходным материалом при расчете поправок за косвенный эффект морских приливов в приливные вариации силы тяжести и наклонов земной поверхности.

Для рассматриваемых наклономерных станций поправки в земноприливные параметры γ и $\Delta\varphi$ в частоте волны M_2 , полученные по котидальным картам Швидерского, достигают 3—4 % и существенно отличаются от поправок, полученных ранее по глобальным картам Богданова [6]. Поправки в приливные вариации силы тяжести для станции Полтава, полученные по обсем котидальным картам, близки между собой.

Таблица 3. Числа Лява k , полученные с использованием отношения h/k

Фактор	До введения поправок за прилив в океане		После введения поправок за прилив в океане	
	Модель I	Модель II	Модель I	Модель II
γ_{NS}	0.306	0.299	0.296	0.289
γ_{EW}	0.280	0.273	0.298	0.291
δ	0.336	0.320	0.303	0.289

Попытаемся, хотя бы качественно, оценить по результатам наблюдений достоверность поправок за влияние дальних зон океанических приливов и их погрешность. Для этого дополнительно используем данные табл. 3, в которой помещены значения чисел Лява k , вычисленных по значениям γ и δ волны M_2 (таблицы 1, 2) и отношению h/k для I и II моделей внутреннего строения Земли Молоденского.

Из таблиц 1 и 3 можно сделать следующие выводы: 1. Введение поправок за влияние дальних зон океанического прилива в параметры γ для обоих направлений север—юг и запад—восток практически не изменило погрешности их средних векторных величин; 2. Разность $\gamma_{NS} - \gamma_{EW}$ уменьшилась до значения, которое меньше суммы средних квадратичных погрешностей этих величин, т. е. практически исчезла; 3. Если до введения поправок за влияние дальних зон океанического прилива разброс параметра k (табл. 3) для модели Молоденского I составил 0.056 единиц, модели II — 0.047 единиц, то после введения поправок он уменьшился соответственно до 0.007 и 0.002 единиц.

Из изложенного следует, что поправки за влияние дальних зон океанического прилива, вычисленные для ДДВ, вполне реальны, а их погрешности не превышают погрешностей определения величин γ и δ . Условно примем, что введение поправок за влияние дальних зон океанического прилива в γ и δ увеличивает их погрешность на 50 %.

Поскольку (табл. 1) региональные параметры γ в направлениях север—юг и запад—восток для ДДВ стали совпадать между собой после введения поправок за влияние океанического прилива, то для определения чисел Лява целесообразно их усреднить. Получаем среднее векторное: $\gamma = 0.6965 \pm 0.0011$, $\Delta\varphi = -0.74 \pm 0.59^\circ$. Увеличивая погрешности γ и δ на 50 %, для определения чисел Лява получаем две величины: $\gamma = 0.6965 \pm 0.0017$ и $\delta = 1.1574 \pm 0.0015$. По формулам (1) находим $h = 0.5957 \pm 0.0057$ и $k = 0.2922 \pm 0.0044$.

В настоящее время сравнимая точность определения чисел Лява получена из анализа результатов наблюдений изменения скорости вращения Земли под действием долгопериодического зонального прилива и из лазерных наблюдений искусственных спутников Земли. Первым способом [11] найдено $k = 0.301 \pm 0.004$. Вторым способом [12] для второй зональной гармоники определено $k = 0.300 \pm 0.001$. Со значительно меньшей точностью число h определено в работе [7] из анализа экстензометрических наблюдений, проведенных (81 станция) по всему земному шару: $h = 0.610 \pm 0.027$.

В пределах погрешностей определения упомянутые числа Лява соответственно совпадают между собой. Однако земноприливные наблюдения имеют то преимущество, что дают одновременно и независимо два числа h и k . Это позволяет найти их отно-

шенне, которое играет существенную роль в сравнении различных моделей внутреннего строения Земли и теорий ее вращения. Значения величины h/k для теоретических моделей Молоденского составляют 2.023 (I модель) и 2.046 (II модель), а наблюдаемая величина для ДДВ равна 2.039 ± 0.036 .

Таким образом, достаточно всего в четыре раза повысить точность определения отношения h/k , чтобы сделать довольно уверенный вывод о достоверности той или иной модели.

Значения чисел Лява, определяемые по изменению скорости вращения Земли и усредненном экстензометрических наблюдений, являются глобальными и характеризуют всю Землю. Два других способа имеют региональный характер. В нашем случае различие между ними не превышает 1—2 % с такой же погрешностью.

Наблюдения приливных наклонов на станции Карло-Либкнехтовск выполнялись в соляной шахте на глубине 120 м в четырех камерах на восьми постаментках [5]. Полученные здесь результаты позволяют для определения чисел Лява использовать также и гармонические постоянные волны O_1 в направлении запад—восток. После введения всех поправок по формулам (1) получено $k_{O_1} = 0.283 \pm 0.042$ и $h_{O_1} = 0.580 \pm 0.065$.

1. *Баленко В. Г.* Исследование наклонов земной поверхности по профилю Киев—Артёмовск.— Киев : Наук. думка, 1980.—174 с.
2. *Баленко В. Г.* Эффект топографии в приливных наклонах на станциях профиля Киев—Артёмовск // Вращение и прилив. деформации Земли.— 1981.— Вып. 13.— С. 3—10.
3. *Баленко В. Г., Булацен В. Г., Новикова А. П.* Приливные изменения силы тяжести в Полтаве в 1980—1981 гг. // Там же.— 1983.— Вып. 15.— С. 3—11.
4. *Баленко В. Г., Булацен В. Г., Шляховый В. П. и др.* Приливные изменения силы тяжести в Полтаве с 1973 по 1976 гг. // Там же.— 1978.— Вып. 10.— С. 3—14.
5. *Баленко В. Г., Кутный А. М., Новикова А. П.* Наклономерные наблюдения в К.-Либкнехтовске по программе изучения эффекта полости // Там же.— 1979.— Вып. 11.— С. 18—23.
6. *Богданов К. Т.* Приливы мирового океана.— М. : Наука, 1975.—109 с.
7. *Латынина Л. А.* Результаты экстензометрических исследований в геодинимике: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук.— М., 1985.—37 с.
8. *Матвеев П. С., Голубицкий В. Г., Богдан И. Ю. и др.* Уточненные значения параметров земного прилива для пунктов профиля Сумы—Херсон // Вращение и прилив. деформации Земли.— 1977.— Вып. 9.— С. 16—33.
9. *Перцев Б. П.* Влияние морских приливов ближних зон на земноприливные наблюдения // Изв. АН СССР. Физика Земли.— 1976.— № 1.— С. 13—22.
10. *Перцев Б. П., Иванова М. В.* Расчет нагрузочных чисел Лява для земной модели № 508 Гилберта и Дзвонского // Изучение земных приливов.— М. : Наука, 1980.— С. 42—47.
11. *Пильник Г. П.* Астрономические наблюдения земных приливов // Изв. АН СССР. Физика Земли.— 1970.— № 3.— С. 3—14.
12. *Романова Г. В.* Определение числа Лява k из лазерных наблюдений искусственных спутников Земли: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— М., 1984.—14 с.
13. *Шляховый В. П.* О сезонных искажениях параметров основных приливных волн на станции «Судневка» по наблюдениям с автокомпенсационными наклономерами // Вращение и прилив. деформации Земли.— 1983.— Вып. 15.— С. 30—37.
14. *Chiaruttini C.* Tidal loading on the Italian peninsula // Geophys. J. Roy. Astron. Soc.— 1976.—46, N 3.— P. 773—793.
15. *Schwiderski E.* On charting global ocean tides // Rev. Geophys. and Space Phys.— 1980.—18, N 1.— P. 243—268.

Полтав. гравиметр. обсерватория
Ин-та геофизики им. С. И. Субботина АН УССР,
Ин-т физики Земли АН СССР, Москва

Поступила в редакцию
04.07.86