

Проверка и уточнение моделей движения литосферных плит по данным наблюдений ИСЗ и внегалактических радиоисточников

А. И. Емец, И. Т. Миронов, Я. С. Яцкив

В [1] показано, что геофизические модели AM1 и RM2 движения литосферных плит не противоречат данным об индивидуальных перемещениях станций, полученным из современных наблюдений. В настоящей работе этот вывод подтверждается на основании анализа скоростей изменений широт и долгот станций доплеровских наблюдений ИСЗ, длин хорд между станциями лазерных измерений расстояний до ИСЗ LAGEOS, базисов радиointерферометров. Оценены кинематические параметры современных движений некоторых литосферных плит.

TEST AND IMPROVEMENT OF THE LITHOSPHERIC PLATE MODELS BASED ON THE OBSERVATIONS OF THE SATELLITES AND EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES, by Emets A. I., Mironov N. T., Yatskiy Ya. S. — The results [1] show that the lithospheric plate models AM1 and RM2 do not contradict the data on modern motion of stations obtained from astronomical and space geodetic data. This conclusion is confirmed by the analysis of the baselines variations and the changes of chord lengths revealed from the laser ranging to LAGEOS and VLBI observations of radio sources. The magnitudes of the kinematic parameters of recent plate motions are estimated.

В последние годы модели перемещения литосферных плит стали предметом детального изучения специалистов разных стран [3—9]. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что количественные оценки параметров тектоники плит способствуют пониманию тех процессов и явлений, которые происходят внутри и на поверхности Земли. С другой — перемещения литосферных плит выступают в роли «помех», которые необходимо учитывать при установлении земной системы координат, обработке высокоточных наблюдений с целью определения параметров вращения Земли и других геодинамических параметров. В [9], например, показано, что движение плит, на которых расположены станции лазерных наблюдений ИСЗ LAGEOS, вызывает вековое изменение параметров вращения Земли: $0.001''/\text{год}$ (по x -координате), $0.0005''/\text{год}$ (по y -координате) и $-0.0001^\circ/\text{год}$ (всемирное время). Эти выводы сделаны на основе геофизической модели абсолютного движения плит AM1-2 [6]. В [7] для редукции наблюдений, полученных по проекту MERIT, рекомендуется модель абсолютного движения плит АМО-2 [6]. Возникает вопрос: какую геофизическую модель выбрать в качестве исходной при редукции высокоточных наблюдений? По-видимому, предпочтение нужно отдать модели, которая не противоречит данным современных наблюдений и является внутренне согласованной.

Мы выполнили проверку геофизических моделей абсолютного и относительного движений литосферных плит [6] по результатам измерений методами и средствами космической геодезии с целью выяснения их пригодности для описания современных перемещений плит и учета этих перемещений при обработке высокоточных наблюдений в сети опорных геодинамических станций, например, ГЕОСС-РЕА [2].

Пусть $\dot{\varphi}_{k,i}$, $\dot{\lambda}_{k,i}$ — скорости изменения широт и долгот станций наблюдений, расположенных на одной тектонической плите; $\dot{d}_{k,i,l,j}$ — скорости изменения длин хорд или базисов между станциями наблюдения, расположенными на разных тектонических плитах (k, l — индексы плит; i, j — индексы станций). Проверяется гипотеза: согласуются ли наблюдаемые значения величин $\dot{\varphi}_{k,i}^o$, $\dot{\lambda}_{k,i}^o$ и $\dot{d}_{k,i,l,j}^o$ с аналогичными значениями $\dot{\varphi}_{k,i}^c$, $\dot{\lambda}_{k,i}^c$ и $\dot{d}_{k,i,l,j}^c$, предсказанными моделями движения тектонических плит. В качестве исходного наблюдательного материала взяты: значения $\dot{\varphi}_{k,i}^o$ и $\dot{\lambda}_{k,i}^o$, полученные по доплеровским наблюдениям ИСЗ в 1973 — 1983 гг. [3], значения $\dot{d}_{k,i,l,j}^o$ определенные по лазерным измерениям расстояний до ИСЗ LAGEOS [4, 9] и наблюдениям радиоисточников РСДБ-методом в ходе выполнения геодинамической программы США [8] (табл. 1). Сравнивались средние значения квадратов наблюдаемых величин $\dot{\varphi}_{k,i}^o$, $\dot{\lambda}_{k,i}^o$, $\dot{d}_{k,i,l,j}^o$ до и после исключе-

ния из них теоретически предсказанных движений литосферных плит — $\dot{\varphi}_{k,i}^c, \dot{\lambda}_{k,i}^c, \dot{d}_{k,i,l,j}^c$. При вычислении $\dot{\varphi}_{k,i}^c$ и $\dot{\lambda}_{k,i}^c$ использовали значения кинематических параметров модели абсолютного движения плит АМ1, а при вычислении $\dot{d}_{k,i,l,j}^c$ — модели относительного движения RM2:

$$\langle (\dot{\varphi}_{k,i}^o)^2 \rangle / \langle (\dot{\varphi}_{k,i}^o - \dot{\varphi}_{k,i}^c)^2 \rangle = 1.01,$$

$$\langle (\dot{\lambda}_{k,i}^o)^2 \rangle / \langle (\dot{\lambda}_{k,i}^o - \dot{\lambda}_{k,i}^c)^2 \rangle = 1.90,$$

т. е. исключение перемещений плит по модели АМ1 уменьшает среднее значение квадрата наблюдаемых скоростей изменений долгот.

Таблица 1. Распределение массива станций наблюдения по литосферным плитам

Названия плит, их условные обозначения	Наблюдения ИСЗ		Наблюдения радиостанций
	доплеровские	лазерные	
Евразия, ЕА	+		+
Сев. Америка, СА	+	+	+
Индия, ИА	+	+	
Тихий океан, ТО	+	+	
Африка, АФ	+		
Юж. Америка, ЮА	+	+	
Антарктида, АН	+		

Примечание. Знак «+» означает наличие станций на плите.

Таблица 2. Средние значения квадратов скоростей изменений длин хорд и базисов

Названия плит	Число хорд, базисов	Лазерные наблюдения ИСЗ LAGEOS		Наблюдения радиостанций	
		$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o)^2 \rangle$	$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o - \dot{d}_{k,i,l,j}^c)^2 \rangle$	$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o)^2 \rangle$	$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o - \dot{d}_{k,i,l,j}^c)^2 \rangle$
СА — ЕА	5			1.60	0.34
СА — ИА	14	5.80	2.88		
СА — ТО	5	6.80	6.88		
СА — ЮА	7	2.57	2.51		
ИА — ТО	4	23.08	3.12		
ИА — ЮА	2	5.01	0.75		
ЮА — ТО	2	21.06	27.22		

Из табл. 2 видно, что исключение относительных перемещений плит по модели RM2 в большинстве случаев уменьшает средние значения квадратов наблюдаемых скоростей изменений длин хорд и базисов. По всей совокупности лазерных наблюдений ИСЗ LAGEOS это уменьшение равно

$$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o)^2 \rangle / \langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o - \dot{d}_{k,i,l,j}^c)^2 \rangle = 2.15,$$

а по радионтерферометрическим наблюдениям —

$$\langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o)^2 \rangle / \langle (\dot{d}_{k,i,l,j}^o - \dot{d}_{k,i,l,j}^c)^2 \rangle = 4.67.$$

Из этого следует, что в изменениях долгот станций доплеровских наблюдений ИСЗ, длин хорд между станциями лазерных наблюдений ИСЗ LAGEOS, базисов радионтерферометров есть составляющие, предсказываемые геофизическими моделями движения литосферных плит.

Затем мы оценили степень корреляционной связи между наблюдаемыми ($\dot{\varphi}_{k,i}^o, \dot{\lambda}_{k,i}^o, \dot{d}_{k,i,l,j}^o$) и предсказываемыми геофизическими моделями ($\dot{\varphi}_{k,i}^c, \dot{\lambda}_{k,i}^c, \dot{d}_{k,i,l,j}^c$) величинами. Оказалось, что коэффициент корреляции между скоростями изменения широт $r_\varphi = 0.18$, а между скоростями изменения долгот $r_\lambda = 0.48$. Проверка статистической значимости коэффициентов корреляции показала, что корреляционная связь между полученными (по доплеровским наблюдениям ИСЗ) и предсказываемыми (по модели АМ1 абсолютного движения плит) изменениями долгот действительно существует с вероятностью не менее 0.95.

Коэффициент корреляции между скоростями изменения широт статистически незначим. Коэффициенты корреляции между величинами $\dot{d}_{k,i,l,j}^o$ и $\dot{d}_{k,i,l,j}^c$ равны 0.61 и 0.69 (для наблюдений ИСЗ и радиосточников соответственно) и статистически значимы, т. е. между скоростями изменений длин хорд, базисов, полученными по измерениям расстояний до ИСЗ LAGEOS и наблюдениям внегалактических радиосточников, и предсказываемыми по геофизической модели относительного движения плит RM2, действительно имеет место тесная корреляционная связь. Возникает вопрос: нельзя ли по современным наблюдениям уточнить геофизическую модель RM2?

Используя наблюдаемые скорости изменения базисов радиоинтерферометров и предложенную в [1] методику, мы определили следующие значения поправок к кинематическим параметрам движения Северной Америки относительно Евразии:

$$d\Omega = (0.120 \pm 0.078) \cdot 10^{-6} \text{ °/год}, \quad d\Phi = -51.66 \pm 18.51^\circ, \quad d\Lambda = -94.18 \pm 46.90^\circ.$$

По наблюдаемым скоростям изменений длин хорд между станциями лазерных измерений расстояний до ИСЗ LAGEOS мы уточнили кинематические параметры движения Северной Америки относительно Индии:

$$d\Omega = (0.067 \pm 0.232) \cdot 10^{-6} \text{ °/год}, \quad d\Phi = -21.07 \pm 51.94^\circ, \quad d\Lambda = -40.58 \pm 29.74^\circ.$$

Полученные поправки по абсолютной величине меньше уточняемых параметров, а точность их определения еще недостаточна для окончательного вывода о реальности этих поправок.

Мы попытались также по наблюдаемым скоростям изменения длин хорд и базисов найти «мгновенные» векторы вращения плит, т. е. определить современные значения кинематических параметров относительного движения плит.

Результаты приведены в табл. 3, где для сравнения указаны и кинематические параметры модели RM2. Эти данные и значения поправок к модели RM2 свидетельствуют о том, что «средние» (по геофизическим данным) и «мгновенные» (по современным наблюдениям) значения кинематических параметров движения литосферных плит близки между собой.

Таким образом, результаты статистической проверки модели RM2 и ее уточнения, а также определений «мгновенных» кинематических параметров показывают, что геофизическая модель относительного движения литосферных плит RM2 не противоречит

Таблица 3. Кинематические параметры относительного вращения литосферных плит

Названия плит	Модель	Угловая скорость относительного вращения плит	Координаты полюса относительного вращения плит (в град.)	
		$\Omega, 10^{-6} \text{ °/год}$	Φ	Λ
СА — ИА	RM2	1.027 ± 0.407	-45.16 ± 45.70	186.07 ± 48.01
		0.800 ± 0.020	-33.64 ± 1.99	226.56 ± 1.64
СА — ЕА	RM2	0.424 ± 0.128	-68.95 ± 67.70	206.24 ± 19.55
		0.231 ± 0.016	-65.84 ± 13.55	312.48 ± 8.31
ИА — ЕА	RM2	0.658 ± 0.485	29.31 ± 68.90	0.57 ± 59.96
		0.698 ± 0.015	19.71 ± 0.56	38.46 ± 1.58

данным современных измерений, а значит эту модель можно использовать в качестве начального приближения при редукации высокоточных наблюдений в опорных геодинамических сетях станций.

1. Горбань В. М., Емец А. И., Корсунь А. А., Миронов Н. Т., Яцкив Я. С. Проверка и уточнение моделей кинематики геолитосферных плит по данным астрономических и космических наблюдений.— Киев, 1985.— 28 с.— (Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-85-46Р).
2. Монтаг Х., Яцкив Я. С. О создании сети опорных геодинамических станций // Наблюд. искусств. спутников Земли.— 1984.— № 21.— С. 538—552.
3. Anderle R. J., Malyevac C. A. Plate motions computed from Doppler satellite observations // Proc. of the Symposium 2 of the XVIII General Assembly of IUGG. Hamburg.— 1983.— 23 p.
4. Christodoulidis D. C., Smith D. E., Kolenkiewicz R. et al. Observing tectonic plate motions and deformations from satellite laser ranging // J. Geophys. Res.— 1985.— 90, N B 11.— P. 9249—9263.
5. Drewes H. A geodetic approach for the recovery of global kinematic plate parameters // Bull. geod.— 1982.— 56.— P. 70—79.
6. Minster J. B., Jordan T. H. Present-day plate motions // J. Geophys. Res.— 1983.— 88, N B 11.— P. 5331—5354.
7. Project MERIT standards // USNO Circular 167.— 1985.— 17 p.
8. Ryan J. W., C. Ma. Crustal dynamic project data analysis. Fixed station VLBI geodetic results // NASA technical memorandum 86229.— 1985.— 137 p.
9. Tapley B. D., Schutz B. E., Eanes R. J. Station coordinates, baselines, and Earth rotation from Lageos laser ranging: 1976—1984 // J. Geophys. Res.— 1985.— 90, N B 11.— P. 9235—9248.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию
21.07.86