

MAREES TERRESTRES

BULLETIN D'INFORMATIONS

N° 98

30 AVRIL 1987

Association Internationale de Geodesie

Commission Permanente des Marees Terrestres

Editeur Prof. Paul MELCHIOR

Observatoire royal de Belgique

Avenue Circulaire 3

1180 Bruxelles



## VARIATIONS DE MAREES DE LA FORCE DE PESANTEUR EN URSS

N.N. Pariiskii, S.N. Barsenkov, V.A. Volkov, D.G. Gridniev, M.R. Kouznetsov,  
L.V. Kouznetsova, B.P. Pertsev, You. K. Saritcheva, P. Varga, Z. Simon.

Etude des Marées Terrestres, Naouka, Moscou 1980, pages 65-84

Les mesures systématiques des marées de la pesanteur ont commencé en URSS avec la deuxième année Géophysique Internationale, en 1957, quand l'Institut de Physique de la Terre de l'Académie des Sciences d'URSS a reçu quatre gravimètres "Askania" GS-11. Les premières observations avaient été faites par Z.N. Aksentieva en 1955 à Poltava avec un modèle modernisé du vieux gravimètre de Graf.

Nous n'incluons dans cette note que les observations récentes effectuées en 12 sites depuis fin 1959. Les premières observations à Poulkovo, Krasnaïa, Pakhra, Alma Ata et Tbilissi ne sont pas incluses car on n'y avait pas encore tenu compte de la non linéarité des galvanomètres, les calibrages étaient rares et on n'a pas tenu compte de leur variation en fonction du temps, ce qui peut conduire à des erreurs systématiques.

On a utilisé 13 gravimètres : six GS-11, trois GS-12, deux GS-15, un BN-07 ("Askania" transformé en instrument capacitif par le professeur Bonatz), un gravimètre à quartz CKR de D.G. Gridniev. Les travaux ont été réalisés par les collaborateurs de l'Institut de Physique de la Terre de l'Académie des Sciences d'URSS (Moscou) de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava, Académie des Sciences d'Ukraine (Poltava) et de l'Institut de Géologie et Géophysique (Académie des Sciences d'URSS (Novossibirsk). Ont pris part également aux observations à Poulkovo et Obninsk les collaborateurs de l'Institut Eötvös de Géophysique de l'Etat de Hongrie et également de l'Institut de Géodésie, Topographie et Cartographie de Tchécoslovaquie à Prague.

Outre les données publiées précédemment nous incluons deux nouvelles séries d'observations à Alma-Ata (Talgar) (1821 jours) six séries d'observations à Obninsk (1724 jours) et les observations par trois gravimètres à Poulkovo (525 jours).

Table 2. Résumé des valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  par séries séparées.

N° Gravi-mètre	Début de la série	Nombre de jours	$\delta$			$\Delta\phi^\circ$					Source	
			M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Talgar									
126	11.XI 1961 r.	572	1,1681 + 46	1,1764 + 81	1,1522 + 71	1,1748 + 94	-0,61 +0,21	-2,70 +0,33	-0,03 +0,36	0,29 +0,39	[1]	
134	11.XI 1961 r.	568	1,1582 + 56	1,1380 + 115	1,1510 + 128	1,1570 + 95	-0,35 +0,30	-1,44 +0,22	0,48 +0,78	-0,13 +0,48	[1]	
126	VIII 1963 r.	355	1,1525 + 66	1,1554 + 129	1,1337 + 84	1,1438 + 66	-0,67 +0,20	-1,38 +0,86	-0,89 +0,51	0,52 +0,27	[2]	
126	I 1965 r.	361	1,1605 + 52	1,1383 + 57	1,1267 + 46	1,1518 + 80	-0,37 +0,16	-0,78 +0,20	0,01 +0,16	0,22 +0,33	[3]	
134	XI 1964 r.	390	1,1813 + 80	1,1802 + 110	1,1540 + 110	1,1690 + 105	-0,35 +0,16	0,36 +0,56	0,98 +0,54	0,07 +0,48	[3]	
126	XII 1965 r.	362	1,1354 + 73	1,1223 + 98	1,1008 + 100	1,1248 + 79	-0,37 +0,25	-0,58 +0,48	0,21 +0,17	-0,12 +0,32	[4]	
126	XI 1966 r.	207	1,1495 + 70	1,1353 + 50	1,1187 + 100	1,1418 + 80	0,23 +0,20	-0,58 +0,40	0,71 +0,60	0,52 +0,40	[5]	
134	XI 1966 r.	207	1,1732 + 80	1,2033 + 80	1,1260 + 110	1,1750 + 160	0,25 +0,30	0,56 +0,50	2,38 +0,90	1,07 +0,60	[5]	
134	X 1970 r.	280	1,1783 + 91	1,1983 + 127	1,1469 + 144	1,1800 + 86	-0,22 +0,20	-0,50 +0,38	0,21 +0,29	0,47 +0,33	[6]	
167	VIII 1967 r.	677	1,1527 + 33	1,1560 + 67	1,1449 + 95	1,1630 + 128	0,12 +0,16	2,10 +0,32	-0,80 +0,48	-0,29 +0,63	[7]	
167	VIII 1969 r.	294	1,1660 + 67	1,1629 + 133	1,1319 + 62	1,1560 + 57	-0,73 +0,23	0,02 +0,36	0,13 +0,46	0,08 +0,30	[7]	
167	XI 1971 r.	237	1,1568 + 27	1,1589 + 56	1,1393 + 41	1,1623 + 60	-1,23 +0,11	-1,25 +0,23	-0,56 +0,69	-0,32 +0,29	[7]	
167	VII 1972 r.	165	1,1617 + 30	1,1558 + 50	1,1431 + 50	1,1592 + 70	-1,11 +0,13	-0,11 +0,25	-0,97 +0,25	-0,35 +0,35	[7]	
167	XII 1972 r.	1642	1,1635 + 20	1,1650 + 20	1,1431 + 27	1,1695 + 36	-0,54 +0,06	-0,07 +0,10	0,29 +0,13	0,01 +0,14	[8]	
186	I 1974 r.	356	1,1401 + 40	1,1403 + 88	1,1140 + 93	1,1415 + 132	-0,20 +0,20	-0,70 +0,44	1,44 +3,47	-0,60 +0,60	[9]	
			Tashkent									
126	XI 1959 r.	179	1,1477 + 36	1,1345 + 52	1,1190 + 57	1,1490 + 66	-1,27 +0,12	-0,53 +0,27	-0,15 +0,21	0,32 +0,24	[10]	
134	XI 1959 r.	179	1,1363 + 38	1,1333 + 50	1,1243 + 38	1,1473 + 87	-1,35 +0,12	-1,99 +0,26	0,03 +0,16	-0,63 +0,16	[10]	

Table 2. (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			Frounze			Frounze					
126	XI 1960 г.	195	1,1614 ± 59	1,1342 ± 74	1,1387 ± 76	1,1629 ± 62	-0,57 ± 0,18	-0,38 ± 0,38	0,11 ± 0,35	1,02 ± 0,48	[11]
134	X 1960 г.	227	1,1451 ± 50	1,1138 ± 82	1,1170 ± 60	1,1420 ± 82	-0,65 ± 0,12	-3,44 ± 0,46	0,38 ± 0,32	0,57 ± 0,38	[11]
			Novossibirsk			Novossibirsk					
186	XII 1966 г.	187	1,1291 ± 40	1,1228 ± 190	1,0832 ± 80	1,1193 ± 90	0,26 ± 0,36	0,92 ± 0,37	1,30 ± 0,58	0,54 ± 0,59	[12]
186	II 1967 г.	304	1,1472 ± 120	1,1298 ± 180	1,1070 ± 110	1,1143 ± 120	0,28 ± 0,48	2,21 ± 0,74	1,26 ± 0,73	-0,26 ± 0,50	[12]
186	III 1968 г.	203	1,1301 ± 90	1,1338 ± 170	1,1000 ± 80	1,1173 ± 120	0,63 ± 0,61	-0,88 ± 0,84	0,10 ± 0,87	-1,36 ± 0,82	[12]
186	X 1969 г.	295	1,1371 ± 120	1,1248 ± 220	1,1231 ± 80	1,1353 ± 170	0,00 ± 0,52	-1,02 ± 0,89	0,29 ± 0,87	-0,04 ± 0,88	[12]
			Krasnaïa Pakhra			Krasnaïa Pakhra					
124	XII 1968 г.	77	1,2132 ± 150	1,1960 ± 250	1,1633 ± 280	1,2184 ± 290	11,32 ± 0,60	-0,32 ± 1,50	-0,15 ± 0,90	0,18 ± 2,00	[13]
180	X 1968 г.	124	1,2034 ± 80	1,1357 ± 150	1,2042 ± 150	1,1944 ± 100	-0,40 ± 0,50	-2,50 ± 1,25	-0,01 ± 1,00	-0,20 ± 0,55	[13]
CKT	III 1965 г.	60	1,2002 ± 70	1,1838 ± 100	1,1201 ± 130	1,1514 ± 100	-0,10 ± 0,85	-2,30 ± 0,85	-1,50 ± 1,30	0,80 ± 0,80	[14]
CKT	30.XII 1965 г.	31	1,1690 ± 100	1,2250 ± 140	1,1242 ± 180	1,1414 ± 140	-0,20 ± 1,20	-1,10 ± 1,22	0,60 ± 2,05	0,30 ± 1,10	[15]
180	9.X 1967 г.	105	1,1712 ± 80	1,1739 ± 160	1,1161 ± 170	1,1293 ± 110	0,08 ± 0,50	-0,81 ± 1,25	-0,17 ± 0,86	-0,17 ± 0,55	[16]
180	5.XII 1970 г.	733	1,1873 ± 50	1,1930 ± 110	1,1281 ± 70	1,1514 ± 50	-0,50 ± 0,20	-1,70 ± 0,50	-0,40 ± 0,40	0,00 ± 0,40	[17]
CKT	I.VIII 1970 г.	156	1,1798 ± 48	1,1834 ± 93	1,1266 ± 84	1,1567 ± 151	-0,73 ± 0,20	-2,22 ± 0,45	-0,54 ± 0,42	-0,84 ± 0,38	[18]
			Obninsk			Obninsk					
124	28.VI 1967 г.	152	1,1617 ± 60	1,1597 ± 120	1,1293 ± 130	1,1303 ± 210	-0,48 ± 0,40	0,38 ± 0,70	-0,05 ± 0,70	-1,52 ± 1,00	[19]
135	27.XII 1968 г.	132	1,1708 ± 25	1,1936 ± 53	1,1387 ± 50	1,1529 ± 80	0,80 ± 0,40	-2,20 ± 0,70	0,10 ± 0,30	0,60 ± 0,40	[19]
220	27.IV 1973 г.	121	1,1874 ± 60	1,1911 ± 140	1,1544 ± 120	1,1586 ± 50	-0,55 ± 0,20	-0,83 ± 0,50	0,11 ± 0,50	0,04 ± 0,20	[20]
190	22.I 1973 г.	333	1,1510 ± 95	1,1603 ± 220	1,1322 ± 82	1,1751 ± 121	-0,32 ± 0,47	-4,13 ± 0,99	-0,59 ± 0,62	0,15 ± 0,83	[21]
BN-07	22.VIII 1975 г.	235	1,1963 ± 28	1,1853 ± 43	1,1427 ± 44	1,1643 ± 47	-0,29 ± 0,09	-0,21 ± 0,18	-0,09 ± 0,24	-0,28 ± 0,19	[21]

Table 2. (suite et fin).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
135	III 1971 r.	303	1,2116 ± 70	1,1936 ± 102	1,1536 ± 60	1,1808 ± 76	0,15 ± 0,20	-0,74 ± 1,77	-0,28 ± 0,50	0,55 ± 0,62	[22]
135	10.II 1974 r.	423	1,1942 ± 86	1,1985 ± 84	1,1534 ± 80	1,1693 ± 54	0,70 ± 0,17	0,06 ± 0,34	0,28 ± 0,20	0,46 ± 0,24	[22]
220	28.VIII 1974 r.	202	1,1861 ± 40	1,1524 ± 100	1,1298 ± 66	1,1614 ± 69	-0,32 ± 0,21	1,22 ± 0,55	0,24 ± 0,48	-0,33 ± 0,20	[22]
221	30.VIII 1975 r.	228	1,1939 ± 86	1,2000 ± 139	1,1433 ± 102	1,1618 ± 118	-0,29 ± 0,23	-2,28 ± 0,43	-1,21 ± 0,37	-0,37 ± 0,50	[22]
Poulkovo											
220	25.V 1976 r.	236	1,1790 ± 32	1,1722 ± 70	1,1426 ± 66	1,1623 ± 54	-0,27 ± 0,20	1,56 ± 0,42	-0,87 ± 0,30	-0,40 ± 0,30	[23]
BN-07	13.V 1976 r.	161	1,1848 ± 28	1,1713 ± 110	1,1408 ± 53	1,1558 ± 56	-1,06 ± 0,19	-0,66 ± 0,32	-1,56 ± 0,20	-0,76 ± 0,45	[23]
201	13.V 1976 r.	128	1,1769 ± 57	1,1851 ± 132	1,1438 ± 68	1,1572 ± 128	-0,52 ± 0,31	-0,73 ± 0,66	-1,19 ± 0,34	-0,99 ± 0,56	[23]
Poltava											
159	6.IX 1961 r.	810	1,1829 ± 50	1,1771 ± 210	1,1454 ± 106	1,1770 ± 66	0,97 ± 0,20	0,73 ± 0,40	0,36 ± 0,22	0,37 ± 0,28	[24]
159	27.XI 1973 r.	365	1,1812 ± 34	1,2101 ± 72	1,1408 ± 65	1,1561 ± 94	0,22 ± 0,12	-0,29 ± 0,12	-0,41 ± 0,33	0,19 ± 0,23	[25]
185	13.IV 1974 r.	135	1,1833 ± 59	1,2044 ± 117	1,1459 ± 186	1,1474 ± 285	0,08 ± 0,21	1,27 ± 0,40	1,46 ± 0,66	-0,30 ± 1,01	[25]
Simféropol											
159	VIII 1964 r.	467	1,1747 ± 49	1,2474 ± 152	1,1489 ± 127	1,1543 ± 104	-0,40 ± 0,20	0,00 ± 0,80	1,00 ± 0,40	0,40 ± 0,50	[26]
Yalta											
159	VI 1966 r.	651	1,1704 ± 43	1,1789 ± 122	1,1041 ± 86	1,1405 ± 73	0,30 ± 0,20	4,30 ± 0,90	0,80 ± 0,20	0,20 ± 0,20	[26]
Bakhtchisarai											
185	VIII 1968 r.	926	1,1689 ± 22	1,1689 ± 118	1,1315 ± 94	1,1620 ± 59	0,07 ± 0,17	-4,48 ± 0,33	-0,87 ± 0,39	0,82 ± 0,49	[27] [28]
Kiev											
124	23.XII 1960 r.	175	1,1882 ± 150	1,2336 ± 260	1,1315 ± 250	1,1476 ± 190	0,02 ± 0,40	0,88 ± 0,60	-0,15 ± 0,30	2,50 ± 0,50	[29]
135	4.VIII 1960 r.	180	1,20C2 ± 130	1,2432 ± 450	1,1571 ± 50	1,1722 ± 310	0,70 ± 0,70	-0,10 ± 1,10	0,50 ± 0,80	0,80 ± 0,90	[29]

Table 3. Corrections instrumentales aux valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$ .

Gravimètre	$\delta \cdot 10^4$				$\Delta(\Delta\phi^\circ)$				Correc- tions au tour de vis
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	
GS-11 № 124	37	39	10	8	4,32	4,48	2,25	2,08	-80
GS-11 № 126	13	14	3	3	2,53	2,62	1,31	1,22	-60
GS-11 № 134	20	21	6	5	2,98	3,08	1,55	1,44	-90
GS-11 № 135	12	12	0	0	2,10	2,20	1,10	1,00	-14
GS-12 № 180	0	0	0	0	0,10	0,10	0	0	60
GS-15 № 220*	0	0	0	0	1,85	1,92	0,96	0,89	
BN-07*	0	0	0	0	0	0	0	0	
GS-15 № 221*	4	5	0	0	1,29	1,34	0,62	0,58	
GS-11 № 167	0	0	0	0	0,22	0,23	0,11	0,10	-20
GS-11 № 159*	6	6	1	1	1,74	1,80	0,90	0,83	
GS-12 № 185*	2	2	1	0	1,13	1,17	0,58	0,54	
GS-12 № 186*	4	4	0	0	1,40	1,47	0,73	0,68	
CKT*	0	0	0	0	0	0	0	0	
GS-12 № 201*	153	167	39	35	8,87	9,17	4,63	4,29	
GS-11 № 190*	21	20	6	5	3,34	3,34	1,67	1,67	

\* Lors des observations avec ce gravimètre on a tenu compte des corrections au tour de vis lors des calibrations.

Table 4. Corrections à la normale ellipsoïdale et d'inertie en  $\delta \cdot 10^4$ .

Stations	Correction à la normale ellipsoïdale				Correction de l'inertie			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Alma-Ata (Talgar)	37	37	-3	-3	-35	-37	-13	-12
Tashkent	34	34	-5	-5	-35	-37	-13	-12
Frounze	36	35	-3	-3	-35	-37	-13	-12
Novossibirsk	51	51	13	12	-33	-36	-12	-10
Obninsk	53	53	13	13	-33	-36	-12	-10
Krasnaïa Pakhra	53	53	13	13	-33	-36	-12	-10
Poulkovo	59	59	19	19	-33	-35	-11	-10
Poltava	46	46	6	6	-34	-36	-12	-11
Crimée	39	39	-1	-1	-34	-37	-13	-12
Kiev	48	50	7	7	-34	-36	-12	-11

Table 5. Corrections dues aux marées océaniques.

Stations	$\delta \cdot 10^4$				$\Delta\phi^\circ$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Alma-Ata (Talgar)	- 77	36	46	26	0,53	0,43	-0,31	-0,16
Tashkent	-125	10	75	42	0,42	0,52	-0,40	-0,21
Frounze	- 93	27	54	30	0,51	0,47	-0,34	-0,18
Novossibirsk	- 36	50	9	5	0,40	0,17	-0,18	-0,15
Obninsk	-164	-55	26	39	-0,30	0,46	-0,08	-0,12
Krasnaïa Pakhra	-163	-54	26	38	-0,30	0,46	-0,08	-0,13
Poulkovo	-238	-78	15	46	-0,45	0,89	-0,06	-0,14
Poltava	-171	-77	36	41	-0,27	0,39	-0,11	-0,09
Crimée	-164	-89	49	45	-0,31	0,28	-0,13	-0,09
Kiev	-186	-92	31	42	-0,36	0,40	-0,10	-0,10

Comme l'a noté S.M. Molodenskii, des forces d'inertie apparaissent aussi à cause de la nutation et doivent également influencer les ondes diurnes. Le calcul des corrections correspondantes est donné en {32}. Nous calculons cette correction ne dépendant pratiquement pas de la latitude, à la fin de ce travail.

Les corrections aux valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  dues à l'influence des marées océaniques des zones lointaines (à plus de 1300 km) ont été calculées par B.P. Pertsev sur la base des cartes cotidales de K.T. Bogdanov et V.A. Magarik corrigées de la non conservation du volume général des masses d'eau {33}. Le calcul de l'influence des zones proches pour les sites de Crimée, Poltava et Poulkovo n'a pas été fait car les marées dans les mers Noire et Baltique sont faibles. La liste des corrections des marées océaniques est donnée dans la Table 5.

Dans la Table 6 nous donnons les valeurs moyennes pondérées  $\delta$ ,  $\Delta\phi$  pour les quatre ondes principales avec des poids proportionnels au nombre de jours d'observations, avec toutes les corrections indiquées précédemment sauf les corrections dues à l'influence des océans et leurs erreurs quadratiques moyennes. Les erreurs sont obtenues d'après l'allure des séries d'observations indépendantes (voir Table 2).

Les analyses ont été faites par différentes méthodes : Pertsev, Venedikov, Matveyev, Lecolazet et par des méthodes spectrales. On a pris les résultats moyens obtenus par quelques méthodes différant peu l'une de l'autre.

Table 6. Valeurs moyennes  $\delta$  et  $\Delta\phi$  par station avec des poids proportionnels au nombre de jours d'observations dans chaque série, avec toutes les corrections, sauf l'influence des océans.

Station	$\delta$				$\Delta\phi^\circ$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Alma-Ata (Talgar)	1,1602 + 26	1,1592 + 67	1,1384 + 46	1,1607 + 45	-0,41 + ,13	-0,31 + ,33	+0,19 + ,26	+0,06 + ,13
Tashkent	1,1420 + 52	1,1338 + 11	1,1214 + 27	1,1487 + 13	-1,31 + ,04	-1,31 + ,73	-0,11 + ,02	-0,10 + ,42
Frounze	1,1526 + 81	1,1232 + 102	1,1270 + 108	1,1517 + 104	-0,61 + ,04	-2,03 + 1,52	+0,26 + ,14	+0,78 + ,22
Novossibirsk	1,1373 + 42	1,1278 + 30	1,1059 + 80	1,1221 + 51	+0,26 + ,13	+0,37 + ,82	+0,74 + ,31	-0,27 + ,36
Obninsk	1,1851 + 68	1,1767 + 58	1,1430 + 34	1,1653 + 44	+0,01 + ,16	-1,05 + ,58	-0,16 + ,17	+0,02 + ,20
Krasnaïa Pakhra	1,1883 + 42	1,1815 + 102	1,1359 + 99	1,1582 + 86	-0,34 + ,19	-1,70 + ,22	-0,37 + ,13	-0,08 + ,14
Poulkovo	1,1803 + 23	1,1751 + 40	1,1423 + 8	1,1591 + 21	-0,57 + ,20	+0,32 + ,79	-1,16 + ,21	-0,65 + ,20
Poltava	1,1825 + 16	1,1891 + 109	1,1442 + 15	1,1681 + 81	+0,67 + ,27	+0,50 + ,36	+0,26 + ,37	+0,25 + ,14
Crimée	1,1707 + 16	1,1904 + 221	1,1267 + 120	1,1534 + 66	+0,04 + ,21	-0,66 + 2,69	+0,09 + ,62	+0,53 + ,20
Kiev	1,1943 + 60	1,2385 + 48	1,1445 + 128	1,1601 + 123	+0,36 + ,11	+0,38 + ,24	+0,18 + ,32	+1,65 + ,85

La plupart des séries a été analysée par deux méthodes. Nous donnons dans la Table 7 les moyennes avec des poids inversement proportionnels aux carrés des erreurs quadratiques moyennes obtenues par analyse de séries séparées. On a également introduit toutes les corrections, sauf les corrections aux océans.

Nous donnons dans la Table 8 les moyennes pour chaque station par deux procédés de pondération (voir Tables 6, 7) avec l'introduction des corrections relatives à l'influence des océans.

En outre nous donnons dans cette table les valeurs moyennes de  $\delta$  et  $\Delta\phi$  par groupes de stations obtenues avec les poids  $p = 1/\epsilon^2$ , où  $\epsilon$  est l'erreur quadratique moyenne. Les erreurs sur ces moyennes sont calculées d'après les résultats pour les stations séparées en tenant compte des poids :

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2 P_i}{(n-1) \sum P_i}},$$

où  $n$  est le nombre de stations entrant dans le groupe,  $\Delta_i$  l'écart des données de la station par rapport à la moyenne pour le groupe.

Comme la table 3 permet de le constater deux groupes des stations européennes pour les ondes  $M_2$ ,  $K_1$  et  $O_1$  donnent des résultats voisins.

Pour l'onde $M_2$	$\delta(\text{II}) - \delta(\text{III}) = +0,0049$ (0,42 %)
Pour l'onde $O_1$	$\delta(\text{II}) - \delta(\text{III}) = +0,0011$ (0,09 %)
Pour l'onde $K_1$	$\delta(\text{II}) - \delta(\text{III}) = -0,0030$ (0,26 %)

#### Remarque

- 1) Les moyennes par groupes de stations sont prises avec les poids  $p = 1/\epsilon^2$ .
- 2) Les erreurs moyennes données dans les Tables 6 et 7 sont accrues à cause des erreurs sur la détermination de la correction de l'influence des océans qui est arbitrairement prise égale à 1/3 de la correction elle-même.

Les résultats pour l'onde  $S_2$  concordent mal, probablement à cause des influences de la température. Dans la suite nous l'éliminerons de la discussion. Les valeurs moyennes de  $\delta$  pour toutes les stations européennes diffèrent systématiquement de celles des quatre stations asiatiques (groupe I). En moyenne avec les poids  $p = 1/\epsilon^2$  :  $\delta(\text{Eur.}) - \delta(\text{Asie}) = +0,0205 \pm 0,0007$  (1,77 %). La très petite erreur a été obtenue sans doute à cause de la concordance accidentelle des résultats pour les trois ondes.

Table 7. Valeurs moyennes de  $\delta$  et  $\Delta\phi$  par station avec des poids inversement proportionnels aux carrés des erreurs quadratiques moyennes des séries ( $p = 1/\epsilon^2$ )

Station	$\delta$				$\Delta\phi$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Alma-Ata (Talgar)	1,1590 ± 23	1,1579 ± 46	1,1377 ± 28	1,1591 ± 36	-0,55 ± 10	-0,38 ± 23	+0,10 ± 13	+0,10 ± 08
Tashkent	1,1423 ± 57	1,1339 ± 08	1,1227 ± 24	1,1488 ± 11	-1,31 ± 04	-1,29 ± 73	-0,04 ± 09	-0,34 ± 44
Frounze	1,1519 ± 80	1,1250 ± 101	1,1253 ± 105	1,1553 ± 100	-0,62 ± 04	-1,65 ± 1,50	+0,26 ± 13	+0,74 ± 22
Novossibirsk	1,1313 ± 29	1,1284 ± 25	1,1028 ± 88	1,1195 ± 35	+0,27 ± 12	+0,70 ± 57	+0,90 ± 30	-0,16 ± 35
Obninsk	1,1830 ± 50	1,1831 ± 46	1,1440 ± 29	1,1641 ± 29	-0,13 ± 14	-0,38 ± 29	-0,01 ± 15	-0,04 ± 13
Krasnaïa Pakhra	1,1864 ± 47	1,1671 ± 163	1,1330 ± 92	1,1552 ± 76	-0,46 ± 19	-1,88 ± 21	-0,41 ± 12	-0,25 ± 19
Poulkovo	1,1818 ± 23	1,1741 ± 35	1,1421 ± 09	1,1590 ± 22	-0,66 ± 26	+0,04 ± 74	-1,32 ± 21	-0,59 ± 17
Poltava	1,1820 ± 07	1,2061 ± 62	1,1424 ± 16	1,1693 ± 74	-0,35 ± 24	-0,09 ± 32	+0,22 ± 34	+0,25 ± 09
Crimée	1,1700 ± 14	1,1916 ± 222	1,1230 ± 126	1,1536 ± 68	0,00 ± 20	-2,99 ± 2,04	+0,54 ± 24	+0,30 ± 15
Kiev	1,1950 ± 59	1,2360 ± 42	1,1561 ± 49	1,1543 ± 109	+0,19 ± 29	+0,66 ± 41	-0,07 ± 29	+2,10 ± 72

Table 8. Moyennes des Tables 6 et 7 en tenant compte des corrections dues à l'influence des océans.

Stations	$\delta$				$\Delta\phi^\circ$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Alma-Ata	1,1519±35	1,1622± 58	1,1426± 40	1,1625± 41	+0,05±,22	+0,09±,31	-0,17±,22	-0,08±,11
Tashkent	1,1297±68	1,1328± 09	1,1145± 36	1,1446± 18	-0,86±,16	-0,78±,75	-0,48±,14	-0,43±,44
Frounze	1,1429±86	1,1268±102	1,1316±108	1,1565±102	-0,11±,17	-1,37±,52	-0,08±,18	+0,58±,23
Novossibirsk	1,1307±38	1,1331± 33	1,1053± 84	1,1213± 43	+0,66±,18	+0,71±,70	+0,64±,31	-0,37±,36
Groupe I	1,1408±60	1,1334± 25	1,1254± 83	1,1444± 62	-0,13±,33	+0,03±,26	-0,21±,19	-0,06±,16
Obninsk	1,1676±81	1,1744± 55	1,1451± 33	1,1686± 38	-0,36±,18	+0,08±,39	-0,16±,16	-0,13±,16
Krasnaïa Pakhra	1,1711±76	1,1689±144	1,1370± 96	1,1605± 82	-0,70±,21	-1,33±,27	-0,47±,12	-0,29±,16
Poulkovo	1,1572±82	1,1668± 46	1,1437± 10	1,1636± 27	-1,07±,27	+1,07±,82	-1,30±,21	-0,76±,19
Groupe II	1,1656±42	1,1699± 26	1,1438± 5	1,1650± 18	-0,62±,19	-0,74±,57	-0,52±,27	-0,35±,18
Poltava	1,1551±67	1,1899± 89	1,1469± 20	1,1728± 79	-0,06±,28	+0,59±,36	+0,13±,36	+0,16±,12
Crimée	1,1536±53	1,1821±223	1,1297±124	1,1580± 69	-0,14±,22	-1,04±,32	+0,19±,43	+0,33±,18
Kiev	1,1760±64	1,2280± 55	1,1534± 89	1,1614±117	-0,08±,23	+0,92±,35	-0,04±,30	+1,78±,78
Groupe III	1,1607±71	1,2160±128	1,1468± 21	1,1639± 48	-0,10±,02	+0,74±,18	+0,07±,07	+0,24±,15
Groupes II + III	1,1625±40	1,1864±111	1,1443± 9	1,1648± 16	-0,39±,15	-0,10±,42	-0,43±,18	-0,06±,16
Groupes II + III - I.	+0,0217±72	+0,0530±114	+0,0189± 83	+0,0204± 64				

Si nous ajoutons aux ondes diurnes  $K_1$  et  $O_1$  les corrections de l'influence du noyau liquide (respectivement +0,0220 et +0,0007) et les corrections de M.S. Molodenskii d'influence des forces d'inertie dues aux nutations, corrections qui ne dépendent pas de la latitude, soit +0,0033 pour l'onde  $K_1$  et 0,0031 pour l'onde  $O_1$ , alors pour les trois ondes fondamentales et leurs moyennes simples (moyenne avec les poids  $p = 1/\varepsilon^2$ ) nous aurons les valeurs suivantes :

Stations	$M_2$	$O_1$	$K_1$	Moyenne
Européennes	1,1625	1,1686	1,1696	1,1669
Asiatiques	1,1408	1,1482	1,1507	1,1466

Si nous faisons la moyenne des groupes de stations avec des poids proportionnels au nombre de jour d'observations nous obtiendrons :

Stations	$M_2$	$O_1$	$K_1$	Moyenne
Européennes	1,1620	1,1682	1,1655	1,1652
Asiatiques	1,1480	1,1604	1,1620	1,1568

La différence avec cette méthode de pondération est assez bien plus petite

Stations	$M_2$	$O_1$	$K_1$	Moyenne
Européennes	1,1634	1,1680	1,1679	1,1664
Asiatiques	1,1388	1,1500	1,1400	1,1429

Pour cette moyenne la différence est plus grande.

Il convient de noter que les résultats les plus sûrs, obtenus à Alma-Ata (Talgar) donnent une différence assez bien plus petite par rapport aux stations européennes. Les résultats de Novossibirsk ont été obtenus jusqu'à présent avec un seul appareil. On fait à présent à Novossibirsk des observations simultanées avec quatre gravimètres.

Les différences entre  $\delta (M_2)$  et  $\delta (O_1)$  s'expliquent probablement dans une grande mesure par l'imprécision des cartes cotidales et par l'imprécision des corrections de l'influence des marées océaniques qui en découle.

Table 9. Valeurs  $\delta(O_1) - \delta(K_1)$  pour les différentes stations (en tenant compte de l'influence des océans).

Stations	Nombre d'appareils	$\Delta = \delta(O_1) - \delta(K_1)$	$\epsilon_{\Delta}$	Correction calculée pour l'influence des océans
Alma-Ata	4	+0,0199	$\pm 0,0057$	-0,0020
Tashkent	2	+0,0301	$\pm 0,0040$	-0,0033
Frounze	2	+0,0249	$\pm 0,0144$	-0,0024
Novossibirsk	1	+0,0160	$\pm 0,0094$	-0,0004
Obninsk	4	+0,0235	$\pm 0,0050$	+0,0013
Poulkovo	3	+0,0199	$\pm 0,0029$	+0,0031
Krasnaïa Pakhra	3	+0,0235	$\pm 0,0126$	+0,0012
Poltava	2	+0,0259	$\pm 0,0081$	+0,0005
Crimée	2	+0,0283	$\pm 0,0142$	-0,0004
Kiev	2	+0,0080	$\pm 0,0147$	+0,0011
Moyenne	$(p \sim 1/\epsilon^2)$	+0,0227	$\pm 0,0011$	
	$(p \sim N)$	+0,0207	$\pm 0,0014$	
	$(p = 1)$	+0,0220	$\pm 0,0020$	

Table 10. Moyennes  $\Delta\phi$  pour les différentes stations.

Stations	$p_1$		$p_2$	
	$\Delta\phi(M_2, S_2)$	$\Delta\phi(O_1, K_1)$	$\Delta\phi(M_2, S_2)$	$\Delta\phi(O_1, K_1)$
Européennes	$-0,10 \pm 0,02$	$+0,03 \pm 0,07$	$-0,33 \pm 0,09$	$-0,13 \pm 0,09$
Asiatiques	$-0,03 \pm 0,20$	$-0,12 \pm 0,12$	$-0,03 \pm 0,20$	$-0,12 \pm 0,12$
Moyenne				
$(p = 1/\epsilon^2)$	$-0,10 \pm 0,02$	$-0,01 \pm 0,06$	$-0,28 \pm 0,11$	$-0,13 \pm 0,07$
$(p = N)$	$-0,06 \pm 0,10$	$-0,03 \pm 0,07$	$-0,17 \pm 0,11$	$-0,12 \pm 0,08$
$(p = K)$	$-0,07 \pm 0,10$	$-0,05 \pm 0,07$	$-0,21 \pm 0,11$	$-0,13 \pm 0,08$

Remarque.

$p_1$  est la moyenne des groupes II et III avec poids  $p = 1/\epsilon^2$  et la moyenne des deux ondes avec  $p = 1/\epsilon^2$  et  $\epsilon_{\text{moy.}} = 1/\sqrt{\Sigma p}$ .  $p_2$  - moyenne des groupes II et III avec poids  $p = N$  ( $N$  est le nombre de jours d'observations,  $\epsilon_{\text{moy.}} = 1/\sqrt{\Sigma p}$  et la moyenne des deux ondes avec  $p = 1/\epsilon^2$  et  $\epsilon_{\text{moy.}} = 1/2 \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}$ .  $K$  est le nombre de stations européennes et asiatiques.

M.S. Molodenskii a calculé pour un modèle de Terre avec noyau liquide et graine (modèle II) l'influence du noyau liquide sur les valeurs  $\delta$  pour les différentes ondes (34).

Il a obtenu  $\delta(O_1) - \delta(K_1) = +0,022$ .

Nous avons mesuré cette différence déjà dans les observations de 1959 à 1960 à Tashkent et ensuite à Frounze en 1960 à 1961 (10, 11). Cette différence pour les différentes stations est donnée dans la Table 9. On y a introduit toutes

les corrections en incluant aussi les corrections dues aux océans mais comme dans toutes les valeurs de  $\delta$  données plus haut, pour les ondes diurnes on n'a pas introduit les corrections d'inertie dues aux nutations calculées plus tard par S.M. Molodenskii (31) :

$$\Delta\delta(O_1) = +0,00311, \quad \Delta\delta(K_1) = +0,00327, \quad \Delta\{\delta(O_1) - \delta(K_1)\} = -0,00016.$$

En tenant compte de ceux-ci, nous obtenons en moyenne pour tous les points

$$\delta(O_1) - \delta(K_1) = +0,0225 \pm 0,0011,$$

ce qui coïncide avec la théorie de M.S. Molodenski et correspond à  $\delta(O_1)/\delta(K_1) = 1,0197$ .

Pour la plupart des analyses les ondes  $K_1$  et  $P_1$  n'ont pas été séparées et pour les séries d'une durée semi-annuelle ou annuelle, l'influence de l'onde  $P_1$  ne s'élimine pratiquement pas en moyenne.

Les retards de phases  $\Delta\phi$  par rapport à la variation théorique pour la Terre rigide (voir Table 8) pour les différentes moyennes sont donnés dans la Table 10.

En moyenne, par les différents procédés de pondération,  $\Delta\phi (M_2, S_2) = -0,15 \pm 0,09$ ;  $\Delta\phi (O_1, K_1) = -0,08 \pm 0,07$ .

La précision de la détermination de  $\Delta\phi$  n'est pas encore suffisante pour conclure définitivement à une différence régionale du retard pour les zones européenne et asiatique. Les retards obtenus ne permettent pas de juger de la possibilité d'application ou non de modèles rhéologiques de la structure de la Terre. On ne peut également pas juger des valeurs du facteur rhéologique  $Q$  pour toute la Terre d'après les données d'une petite partie de la surface de la Terre sur laquelle sont situées nos stations (voir figure). Les données obtenues peuvent présenter de l'intérêt pour l'étude ultérieure des hétérogénéités horizontales des propriétés élastiques du manteau {35}.

Pour comparer avec les modèles théoriques de la structure interne de la Terre d'après les valeurs observées de  $\delta$  il faut construire des modèles en tenant compte de la contraction de la Terre, dont la théorie de calcul est donnée dans le travail de M.S. Molodenskii {36} mais cette comparaison exige un réseau global de stations de marées.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Барсенков С.Н., Волков В.А., Гриднев Д.Г. и др. Приливные измерения силы тяжести в Талгаре, определенные скользящим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. - В кн.: Земные приливы и внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1967, с. 62-110.
2. Барсенков С.Н., Волков В.А., Кузнецов М.В., Парийский Н.Н. Наблюдения приливных измерений силы тяжести в Талгаре I в 1963-1964 гг. - В кн.: Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности. М.: Наука, 1970, с. 3-25.
3. Барсенков С.Н., Волков В.А., Кузнецов М.В. и др. Приливные измерения силы тяжести в Талгаре II. - В кн.: Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности. М.: Наука, 1970, с. 26-73.
4. Барсенков С.Н., Волков В.А., Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Парийский Н.Н. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре в 1966 г. - В кн.: Медленные движения земной коры. М.: Наука, 1972, с. 53-78.
5. Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Парийский Н.Н. Результаты полугодового ряда наблюдений за приливными вариациями ускорений силы тяжести в Талгаре в 1967 г. - В кн.: Медленные движения земной коры. М.: Наука, 1972, с. 79-112.
6. Парийский Н.Н., Барсенков С.Н., Волков В.А., Гриднев Д.Г., Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Перцев Б.П., Шibaев Ю.Ф. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре по многолетним наблюдениям. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 5-23.
7. Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Парийский Н.Н., Шibaев Ю.Ф. Результаты шестилетних наблюдений приливных вариаций силы тяжести гравиметром "Аскания" № 167 в Талгаре. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 24-42.
8. Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Парийский Н.Н., Шibaев Ю.Ф. Наблюдения земных приливов на станции Алма-Ата (Талгар) гравиметром "Аскания" GS-11 № 167 в 1973-1977 гг. - Наст. сборник, с. 96-101.
9. Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Сарычева Ю.К., Парийский Н.Н., Шibaев Ю.Ф. Сравнение двух приливорегистрирующих гравиметров "Аскания" по наблюдениям в Алма-Ате (Талгар). - Наст. сборник, с. 85-95.
10. Парийский Н.Н., Гриднев Д.Г., Барсенков С.К., Сарычева Ю.К., Крамер М.К. Приливные изменения силы тяжести в Ташкенте. - В кн.: Изучение земных приливов. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 3, с. 9-39.
11. Барсенков С.Н., Волков В.А., Гриднев Д.Г., Парийский Н.Н. Приливные изменения ускорений силы тяжести во Фрунзе. - В кн.: Изучение земных приливов. М.: Наука, 1964, с. 3-30.
12. Saritcheva Yu.K. Les résultats de l'analyse des variations de la force de pesanteur à Novosibirsk. - In: Proc. of the 7th Intern. symp. on the Earth Tides. Budapest: Akad. KIADO, 1976, p. 755-762.
13. Гриднев Д.Г., Иванова М.В., Волков В.А. Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Красной Пахре. - В кн.: Изучение приливных деформаций Земли. М.: Наука, 1973, с. 44-49.
14. Гриднев Д.Г. Регистрация приливных изменений ускорений силы тяжести в Красной Пахре стационарным кварцевым гравиметром с фотоэлектрической записью показаний. - В кн.: Земные приливы и внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1967, с. 111-118.
15. Гриднев Д.Г., Прохоровский Г.С. Наблюдения приливных изменений силы тяжести кварцевым специальным гравиметром в Красной Пахре в 1965-1966 гг. - В кн.: Методика измерений земных приливов и медленных деформаций земной поверхности. М.: Наука, 1970, с. 100-109.
16. Гриднев Д.Г., Иванова М.В., Доброхотов Ю.С. Наблюдения приливных изменений ускорений силы тяжести на станции Красная Пахра гравиметром GS-12 № 180. - В кн.: Медленные движения земной коры. М.: Наука, 1972, с. 113-122.
17. Гриднев Д.Г., Барсенков С.Н. Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Красной Пахре гравиметром GS-12 № 180 с кварцевым внешним гальванометром. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 57-69.
18. Гриднев Д.Г., Крамер М.В. Наблюдения приливных изменений ускорения силы тяжести в Красной Пахре гравиметром СКГ-М. - Наст. сборник, с. 153-161.
19. Волков В.А., Гусева Ф.П., Доброхотова Ю.С., Иванова М.В. Приливные изменения силы тяжести в Обинске. - В кн.: Изучение приливных деформаций Земли. М.: Наука, 1973, с. 50-59.

20. Волков В.А., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П., Засимов С.С., Перийский Н.Н. Первые результаты регистрации земных приливов в Обнинске гравиметром "Аскания" GS-15. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 43-56.
21. Волков В.А., Варга П., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. Советско-венгерские измерения земных приливов в Обнинске. - Наст. сборник, с. 125-136.
22. Волков В.А., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П., Засимов С.С., Крамер М.В., Иванова М.В., Оганесян Ш.С. Регистрация приливных изменений силы тяжести в Обнинске в 1970-1976 гг. - Наст. сборник, с. 102-124.
23. Волков В.А., Барсенков С.Н., Засимов С.С. и др. Наблюдения приливных изменений ускорений силы тяжести в Пулкове в 1976-1977 гг. - Наст. сборник, с. 137-152.
24. Дычко И.А. Приливные изменения силы тяжести в Полтаве. - В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев: Наукова думка, 1970, вып. 1, с. 192-198.
25. Корба П.С., Баленко В.Г., Дычко И.А., Шляховой В.П., Токарь В.И. Приливные изменения силы тяжести в Полтаве в 1973-1974 гг. - В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев: Наукова думка, 1976, вып. 8, с. 19-23.
26. Корба С.П., Корба П.С. Результаты обработки наблюдений приливных вариаций силы тяжести в Симферополе и Ялте методом Венепикова. - В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев: Наукова думка, 1972, вып. 4, с. 54-65.
27. Корба П.С. Приливные вариации силы тяжести в Бахчисарае в 1968-1971 гг. - В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев: Наукова думка, 1973, вып. 5, с. 16-23.
28. Pariiskij N.N., Pertsev B.P., Saricheva Yu.K. et al. A note concerning regional variations in the gravity factor  $\delta$ . - In: Proc. of the 7th Intern. on the Earth Tides. Budapest: Akad. Kiado, 1976, p. 571-576.
29. Доброхотов Ю.С., Лысенко В.И. Наблюдение приливных изменений силы тяжести в Киеве. - В кн.: Изучение земных приливов. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 3, с. 40-53.
30. Венцель Х.Г. Поправка к анализам приливов для приведения к нормали эллипсоида. - Информационный бюллетень по земным приливам, Брюссель, 1974, № 68, с. 3784-3790.
31. Нарийский Н.Н., Перцев Б.П. Влияние инерционных сил на наблюдаемые приливные изменения силы тяжести и наклонов. - Наст. сборник, с. 22-35.
32. Молоденский С.М. Влияние вынужденной нутации Земли на результаты приливных наблюдений. Наст. сборник, с. 36-41.
33. Перцев Б.П. Влияние морских приливов на гравиметрические приливные наблюдения в Восточной Европе. - Труды 3-го Международного симпозиума "Теодезия и Физика Земли". Веймар, 1977, с. 493-498.
34. Молоденский М.С. Теория нутации и суточных приливов. - В кн.: Земные приливы и нутация Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 3-25.
35. Молоденский С.М. Приливы в сферически-несимметричной Земле. - Наст. сборник, с. 5-21.
36. Молоденский М.С. Теория приливов в упругой земле с учетом членов порядка сжатия. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1974, с. 3-8.

COMPARAISON DE DEUX GRAVIMETRES ENREGISTREURS DE MAREES "ASKANIA"  
D'APRES LES OBSERVATIONS A ALMA-ATA (TALGAR)

M.V. Kouznetsov, L.V. Kouznetsova, You. K. Saritcheva,  
N.N. Pariiskii, You. F. Shilayev.

Etude des Marées Terrestres, Naouka - Moscou 1980, pages 85-95.

Au cours de ces dix dernières années on a développé considérablement le réseau mondial de stations de marées terrestres. Il est donc devenu possible d'avoir des résultats d'observations de marées pour clarifier les différences régionales dans la structure interne de la Terre. Pour cette raison l'homogénéité des résultats devient importante à savoir :

- a) une égale précision de l'appareillage employé incluant les erreurs instrumentales systématiques
- b) l'unification des corrections introduites dans les résultats
- c) l'unification des méthodes de réduction.

Les résultats publiés à différentes époques contiennent différents types de corrections ce qui complique la comparaison des résultats en différentes stations. On sait aussi que les gravimètres "Askania" peuvent avoir une erreur systématique ce pourquoi il convient d'effectuer un enregistrement parallèle avec un groupe d'appareils {1}. Ainsi la diminution systématique du paramètre  $\delta = 1 + h - 3/2 k$ , observée au cours d'une année à Novossibirsk ( $\delta = 1,14$ ), par rapport aux autres points des régions européenne et asiatique de l'URSS ( $\delta = 1,16$ ) a requis avant tout une étude comparative de l'appareil enregistreur.

La différence systématique entre les résultats obtenus à Novossibirsk et à Alma-Ata (Talgar) a montré que cette deuxième station était le meilleur endroit pour les deux appareils. A la fin de 1973 on y a transporté de Novossibirsk le gravimètre GS-12 N° 186 (avec enregistreur Bruno Lange) et on l'a installé dans un local (mais sur un pilier différent) avec le gravimètre GS-11 N° 167 où les observations ont été faites au cours des sept dernières années. Cet appareil a un système d'enregistrement photographique. Les observations simultanées

à Talgar ont été faites de janvier 1974 à juillet 1975. La comparaison des résultats de Novossibirsk et de Talgar a commencé par l'examen des résultats de Novossibirsk pour les années antérieures et en tenant compte de toutes les corrections introduites récemment.

La Table 1 donne les résultats à Novossibirsk (Institut de Géologie et de Géophysique de l'Ac. des Sc. d'URSS) dans la station de Klioutch en 1966 à 1970. Ils diffèrent de ceux qui ont été publiés précédemment {2} par les nouvelles corrections de l'influence de la marée océanique calculées par B.P. Pertsev {3}, par la correction à la normale ellipsoïdale {4} et la correction de l'influence des forces d'inertie (tenant compte de la force de Coriolis) {5}.

Table 1. Résultats à Novossibirsk - Gravimètre GS-12 N° 186 (XII 1966 à XII 1970).

Paramètre déterminé de la correction	$\delta$				$\Delta\phi$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Non corrigés ( $\delta$ avec tour de vis)	1,142 $\pm 4$	1,136 $\pm 2$	1,113 $\pm 8$	1,129 $\pm 5$	-1,14 $\pm 13$	-1,09 $\pm 80$	+0,02 $\pm 31$	-0,93 $\pm 36$
Corrections de retard instrumental	0,0003	0,0003	0,0001	0,0001	+1,35	+1,40	+0,70	+0,65
de la normale ellipsoïdale	0,0051	0,0051	0,0013	0,0012				
de la force d'inertie du noyau liquide	-0,0033	-0,0036	-0,0012	-0,0010				
Somme des corrections	+0,0021	+0,0018	+0,0222	+0,0003				
$\delta$ et $\Delta\phi$ déterminés	1,1441	1,1378	1,1352	1,1293	+0,21	+0,31	+0,72	-0,28
Effet des océans	-0,0036	+0,0050	+0,0009	+0,0005	+0,40	+0,17	-0,18	-0,15
$\delta$ et $\Delta\phi$	1,1405	1,1428	1,1361	1,1298	+0,61	+0,48	+0,54	-0,43
$\epsilon = \pm \sqrt{\epsilon_1^2 + (1/3 \Delta\delta_{OK})^2}$	$\pm 42$	$\pm 26$	$\pm 80$	$\pm 50$	$\pm 13$	$\pm 80$	$\pm 31$	$\pm 36$
Amplitudes des ondes $A_T$	23,81	9,53	58,00	33,94				
Moyenne pondérée ( $p = A_T$ )	1,1359	$\pm 0,0023$						
La même chose en tenant compte du tour de vis	1,1427	$\pm 0,0023$						

La correction à la normale ellipsoïdale a été calculée pour les ondes semi-diurnes :  $\Delta\delta = \delta \operatorname{tg} \psi \sin (\phi - \psi)$  et pour les ondes diurnes :  $\Delta\delta = -\delta \operatorname{ctg} 2\psi \cdot \sin (\phi - \psi)$ , où  $\psi$  est la latitude géocentrique et  $\phi$  la latitude géographique,  $\delta$  étant la valeur corrigée du facteur gravimétrique.

La correction due au retard instrumental a été calculée par la formule approximative  $\Delta\delta = 0,5 \delta \operatorname{tg}^2 \Delta\phi$  {b}.

L'erreur sur la moyenne pondérée, calculée avec des poids  $p_i$  proportionnels aux amplitudes des ondes est  $\pm \sqrt{\sum p_i \Delta_i^2 / (n-1) \sum p_i}$  où  $\Delta_i$  est l'écart à la moyenne pondérée.

La valeur finale de  $\delta$  est donnée aussi bien en tenant compte du tour de vis de l'instrument égal à 0,6 de petite division que sans.

Comme la Table 1 permet de le constater l'application de toutes les corrections n'a pas changé sensiblement le rapport entre le résultat final  $\delta = 1,14$  à Novossibirsk et les données connues pour Talgar  $\delta = 1,16$ .

C'est pourquoi il a fallu vérifier la stabilité de sensibilité  $S$  du gravimètre N° 186. Des déterminations analogues ont été faites pour le gravimètre N° 167. Dans ce but les deux appareils ont été étalonnés par deux procédés : au moyen des billes (Table 2) et sur un polygone gravimétrique spécial. Dans la table la moyenne pondérée a été calculée avec des poids  $p = 1/\epsilon^2$ . Les différences entre les déterminations indépendantes restent dans les limites de 0,1 %. Les moyennes simples des valeurs  $S$  diffèrent des moyennes pondérées de moins de 0,02 % pour le gravimètre N° 186 et 0,03 % pour le gravimètre N° 167.

L'étalonnage par le second procédé a été effectué sur trois points du polygone gravimétrique de Alma-Ata; la plus grande différence de  $\Delta g$  entre les repères est de 66,9 mgal. Les trajets ont été parcourus avec les deux gravimètres simultanément. Pour contrôler l'alimentation des thermostats et l'incandescence de la lampe illuminant le photo-élément on a utilisé le même appareil de mesure et de contrôle que lors des observations en station. On a effectué trois trajets aller et retour d'une durée générale de 3,5 heures. La réduction des résultats des étalonnages a été faite par deux procédés.

Le premier procédé consiste en ce qu'après l'introduction de la correction due aux variations de marées (pour laquelle il suffit seulement de connaître approximativement l'échelle d'enregistrement et par conséquent aussi la sensibilité de l'appareil) les mesures sur chaque repère ont été portées en graphique en fonction du temps. D'après ces graphiques, on a déterminé par moindres carrés, la dérive de l'appareil comme une fonction linéaire. On a ainsi obtenu trois valeurs de la dérive (par nombre de repères). On en a formé la moyenne pondérée pour toute la période de mesure. La correction de dérive a ramené les mesures à une même époque, ensuite on a calculé les moyennes correspondantes pour chacun des repères. Les différences des mesures moyennes sur des repères  $\Delta M$  ont été comparées avec la différence connue de pesanteur  $\Delta g$ , et on a calculé la sensibilité  $S = \Delta g / \Delta M$  en microgals par petite division du micromètre. Pour les trois paires de différences  $\Delta M$  on a obtenu les données de la Table 2.

Table 2. Résultats de la détermination de la sensibilité par la méthode de la bille (Talgar).

Gravimètre № 186		Gravimètre № 167	
Epoque	S, $\mu\text{gal}/\text{div}$	Epoque	S, $\mu\text{gal}/\text{div}$
Septembre 1973	172,726 $\pm$ 0,044	Novembre 1971	69,380 $\pm$ 0,020
Juin 1975	172,813 $\pm$ 0,105	Juin 1972	69,390 $\pm$ 0,049
Août 1975	172,609 $\pm$ 0,053	Août 1975	69,346 $\pm$ 0,020
Moyenne	172,716 $\pm$ 0,059	Moyenne	69,372 $\pm$ 0,013
Moyenne pondérée	172,691 $\pm$ 0,048	Moyenne pondérée	69,365 $\pm$ 0,013

Table 3. Mesures avec le micromètre obtenues sur le polygone gravimétrique.

N° du point	Epoque T h. min.	Lecture du galva-nomètre	Zéro du galva-nomètre	Mesure micro-métrique $M_1$	Corrections des indications du galva-nomètre	Mesure corrigée M. corrig.
17	12 55	+4,0	+1,1	2995,60	1,45	2997,05
10	13 30	+2,8	+0,7	2617,29	1,05	2618,34
15	13 47	+6,2	+1,2	2834,39	2,50	2836,89
17	14 00	+4,2	+1,9	3005,23	1,15	3006,38
15	14 18	+4,6	+0,8	2836,17	1,90	2838,07
10	14 42	+1,9	+1,9	2615,42	0,00	2615,42
15	14 59	+3,2	+1,5	2833,76	0,85	2834,61
17	15 15	+2,9	+1,3	3003,27	0,80	3004,07
15	15 40	+4,0	+0,9	2834,93	1,55	2836,48
10	15 59	+4,5	+1,0	2615,11	1,75	2616,86
15	16 16	+3,3	+1,0	2834,25	1,15	2835,40
17	16 36	+1,1	+1,0	3004,73	0,05	3004,78

Table 4. Correction des mesures micrométriques par les corrections à la dérive des galvanomètres.

$\Gamma_0$	$M_2$	T. h. min.	$\Delta\Gamma = \Gamma_0$	$\Delta M$	M (pour $r_{\text{moy.}}$ corrig.)
Repère 17 (le calcul en 12h. 55min., est rejeté)					
+1,9	3006,38	14 00	+0,5	+0,25	3006,63
+1,3	3004,07	15 15	-0,1	-0,05	3004,02
+1,0	3004,78	16 36	-0,4	-0,20	3004,58
$R_{\text{moy.}} = +1,4$					
Repère 10					
+0,7	2618,34	13 30	-0,5	-0,25	2618,09
+1,9	2615,42	14 42	+0,7	+0,35	2616,77
+1,0	2616,86	15 59	-0,2	-0,10	2616,76
$R_{\text{moy.}} = +1,2$					
Repère 15					
+1,2	2836,89	13 47	+0,1	+0,05	2836,94
+0,8	2838,07	14 18	-0,3	-0,15	2837,92
+1,5	2834,61	14 59	+0,4	+0,20	2834,81
+0,9	2836,48	15 40	-0,2	-0,10	2836,38
+1,0	2835,40	16 16	-0,1	-0,05	2835,35
$R_{\text{moy.}} = +1,1$					

Remarque : 1 division du galvanomètre est égale à 0,50 de la petite division du micromètre.

La valeur finale  $S_{\text{moy}}$  est la moyenne pondérée des valeurs  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  avec des poids égaux à  $1/\epsilon^2$ .

Le second procédé a été éprouvé lors de la réduction du gravimètre N° 186 de You. K. Saritcheva; les résultats des mesures au point 1 du polygone sont donnés dans la table 3.

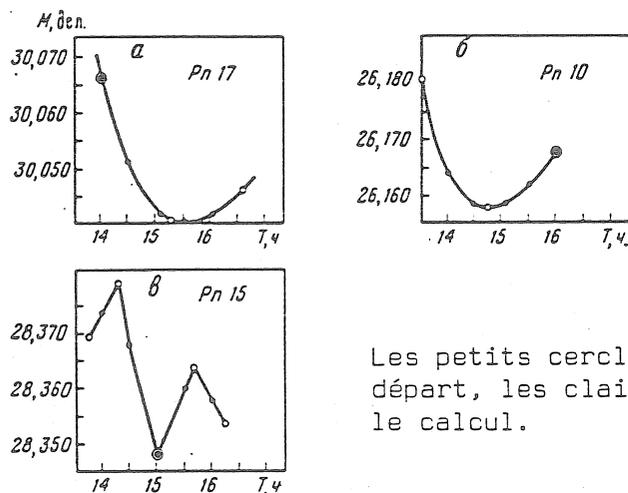


Figure 1.

"zéro" de l'appareil dans les repères

Les petits cercles sombres sont les données de départ, les clairs sont les données prises pour le calcul.

Les mesures de  $M_2$  en chacun des repères sont faites à différentes époques et en relation avec les différents calculs du zéro du galvanomètre  $\Gamma_0$ . Après avoir ramené les calculs à la valeur moyenne  $\Gamma_0$  pour le repère donné nous

obtiendrons les lectures  $M_{\text{corrig.}}$  (Table 4) qui contiennent la marée et la dérive instrumentale dont la somme est donnée à la figure 1. Pour ne pas éliminer la marée et la dérive lors de la détermination de la sensibilité  $S$  on a composé  $M_{\text{corrig.}}$  synchrones pour tous les repères et on a relevé sur les graphiques la lecture correspondant aux mêmes époques (choisies arbitrairement) de temps : 14 h.; 14 h. 30 min.; 15 h. 03 min.; 15 h. 30 min.; 16 h. 00 min. Pour chaque époque on a calculé les différences des lectures  $M_{\text{corrig.}}$  entre les repères : 17-15; 15-10; 17-10 qui ont été comparés ensuite avec les différences de pesantier et on a déterminé ensuite la sensibilité de l'appareil  $S$  (Table 5).

L'étude des courbes a-b permet de rejeter des mesures. L'absence de conformité de la courbe b témoigne de la présence de perturbations sous réserve de quoi la détermination de la sensibilité du gravimètre pouvait se faire en liaison entre les repères 17 et 10. Il convient de considérer la valeur  $S$  obtenue ainsi comme sûre (après le rejet) puisqu'elle est proche de la moyenne. On a finalement

Méthode I  $S = 172,151 \pm 0,073;$

Méthode II  $S = 172,152 \pm 0,204.$

Vu l'identité des résultats, la seconde méthode est beaucoup plus simple que la première et en outre elle permet de rejeter des calculs par l'analyse des courbes sur la figure 1.

Les valeurs obtenues sur le polygone pour la sensibilité  $S$  diffèrent (pour les deux gravimètres) des valeurs obtenues par le tour de vis d'une petite part : 0,3 % pour le gravimètre N° 186 et 0,13 % pour le gravimètre N° 167 ce qui caractérise la précision d'étalonnage sur le polygone.

La précision des calibrations avec la bille est plus élevée. C'est pourquoi on a pris dans la réduction cette valeur de calibration : pour l'appareil N° 186 : 172,716, N° 167 : 69,346  $\mu\text{gal}/\text{petite div. de la vis}$ . On donne la préférence à la méthode de la vis parce que dans ce cas l'appareil se trouve dans les mêmes conditions de température que pendant les observations.

Nous nous arrêterons plus loin sur les résultats des observations communes à Alma-Ata. Avant tout on a fait une sélection soignée des données : on a rejeté les parties présentant une dérive non linéaire variant rapidement et également les endroits ayant une interprétation différente dans le dépouillement de l'enregistrement.

Table 5. Résultats de la détermination de la sensibilité (S  $\mu$ gal/div.) du gravimètre N° 186 sur le polygone (second procédé).

T. h. min.	N° du repère	Interpolation $M_{\text{corrig.}}$	Différences des lectures entre les repères (numérateur) et la sensibilité (dénominateur)		
			N° 17 - 15	N° 15 - 10	N° 17 - 10
15 03	17	3004,22	<u>169,36</u>	<u>219,01</u>	<u>388,37</u>
	15	2834,86	171,971	172,494	172,264
	10	2615,85			
14 00	17	3006,63	<u>169,27</u>	<u>220,96</u>	<u>390,23</u>
	15	2837,36	172,062	170,972	171,442
	10	2616,40			
14 30 °	17	3005,10	<u>168,55</u>	<u>220,73</u>	<u>389,28</u>
	15	2836,55	172,797	171,150	171,861
	10	2615,82			
15 30	17	3004,02	<u>168,02</u>	<u>219,83</u>	<u>387,85</u>
	15	2836,00	173,342	171,851	172,495
	10	2616,17			
16 00	17	3004,17	<u>168,42</u>	<u>218,99</u>	<u>387,41</u>
	15	2835,75	172,931	172,510	172,691
	10	2616,76			
Données du polygone mgal			29,125	37,778	66,902
			$\pm 0,035$	$\pm 0,028$	$\pm 0,029$
$S_{\text{moy.}}$			172,621	171,795	172,151
			$\pm 0,265$	$\pm 0,324$	$\pm 0,225$
Moyenne ( $p = \sqrt{\Delta g}$ )			172,152 $\pm$ 0,204		
Moyenne sans les poids			172,189 $\pm$ 0,239		

Table 6. Résultats des observations à Talgar, gravimètre N° 186 (sans tenir compte du tour de vis).

Paramètre déterminé, Correction	$\delta$				$\Delta\phi^\circ$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Non corrigés	1,1397	1,1400	1,1155	1,1429	-1,60	-0,77	+0,71	-1,28
Corrections	$\pm 40$	$\pm 88$	$\pm 92$		$\pm 20$	$\pm 44$	$\pm 47$	$\pm 67$
du retard instrumental	0,0003	0,0004	0,0001	0,0001	+1,40	+1,47	+0,73	+0,68
à la normale ellipsoïdale	+0,0036	+0,0036	-0,0003	-0,0003				
de la force d'inertie au noyau liquide	-0,0035	-0,0037	-0,0013	-0,0012				
Somme des corrections	+0,0004	+0,0003	+0,0205	-0,0014	+1,40	+1,47	+0,73	+0,68
$\delta$ et $\Delta\phi$ corrigés	1,1401	1,1403	1,1360	1,1415	-0,20	+0,70	+1,44	-0,60
Influence de l'océan	-0,0077	+0,0036	+0,0045	+0,0026	+0,53	+0,43	-0,31	-0,16
$\delta$ et $\Delta\phi$ finales	1,1324	1,1439	1,1405	1,1441	+0,33	+1,13	+1,13	-0,76
	$\pm 48$	$\pm 89$	$\pm 93$	$\pm 132$	$\pm 20$	$\pm 44$	$\pm 47$	$\pm 67$
$A_T$	39,87	18,60	43,60	30,97				
Moyenne pondérée ( $p = A_T$ )			1,1394					
			$\pm 28$					

Table 7. Résultats des observations à Talgar avec le gravimètre N° 167.

Paramètre déterminé, Correction	$\delta$				$\Delta\phi^\circ$			
	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Non corrigés	1,1516	1,1542	1,1320	1,1554	-3,63	-3,19	-1,34	-1,69
Corrections	$\pm 19$	$\pm 41$	$\pm 37$	$\pm 53$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 18$	$\pm 26$
du retard instrumental	+0,0018	+0,0019	+0,0005	+0,0004	+2,98	+3,08	+1,55	+1,44
à la normale ellipsoïdale	+0,0036	+0,0036	-0,0003	-0,0003				
de la force d'inertie au noyau liquide	-0,0035	-0,0037	-0,0013	-0,0012				
Somme des corrections	+0,0019	+0,0018	+0,0209	-0,0011	+2,98	+3,08	+1,55	+1,44
$\delta$ et $\Delta\phi$ corrigés	1,1535	1,1560	1,1529	1,1543	-0,65	-0,11	+0,21	-0,25
Influence de l'océan	-0,0077	+0,0036	+0,0045	+0,0026	+0,53	+0,43	-0,31	-0,16
$\delta$ et $\Delta\phi$ finales	1,1458	1,1596	1,1574	1,1569	-0,12	+0,32	-0,10	-0,41
$A_T$	$\pm 32$	$\pm 43$	$\pm 40$	$\pm 54$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 18$	$\pm 26$
Moyenne pondérée ( $p = A_T$ )		1,1545						
		$\pm 30$						

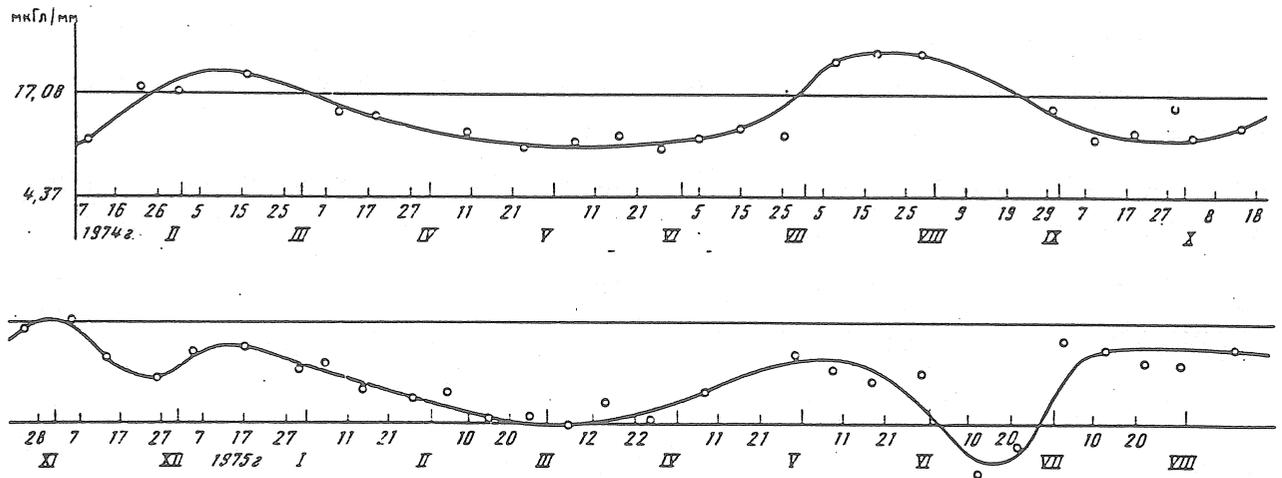


Figure 2. Variation de la sensibilité de l'enregistrement au cours de l'enregistrement.

Ceci concerne des enregistrements obtenus avec l'enregistreur Bruno Lange qui dépend complètement de la stabilité de la tension du réseau électrique local. On a relevé trois groupes : 15 h 7.1 1974 - 23 h 12.VIII 1974; 3 h 22.VII 1974 - 2 h 26.XI 1974, 0 h 2.XII 1974 - 11 h 7.VI 1975, soit en tout 356 jours. Pour les deux appareils, on a fait l'analyse harmonique de ces groupes par la méthode de Venedikov avec un coefficient d'échelle variable. Dans le cas du gravimètre N° 186 on a pris pour chaque groupe un coefficient constant, à savoir 5,894; 6,200; 9,299  $\mu\text{gal}/\text{mm}$ . Le saut brusque de sensibilité de 6,2 à 9,3  $\mu\text{gal}/\text{mm}$  s'explique par un changement de lampe qui illumine le photoélément. Le coefficient variable pour le gravimètre N° 167 est indiqué sur la figure 2. Les résultats de l'analyse harmonique sont donnés dans les tables 6 et 7; la correction du tour de vis de l'instrument n'a pas été introduite étant donné la subjectivité de sa détermination.

Par comparaison des paramètres  $\delta$  obtenus pour différents appareils on constate que ceux du N° 186 sont en moyenne 1,2 % plus bas que l'autre : pour l'onde  $M_2$  de 1,3 %;  $S_2$  de 1,3 %;  $K_1$  de 1,2 %;  $O_1$  de 1,1 %.

D'autre part en comparant les résultats des observations avec le gravimètre N° 186 à Talgar (Table 6) et à Novossibirsk (Table 1) on peut noter que la valeur pondérée moyenne totale (de toutes les ondes) du paramètre  $\delta$  correspond avec une précision atteignant 0,4 % (respectivement  $1,139 \pm 0,003$  et  $1,143 \pm 0,002$ ). La comparaison de ces résultats nous conduit à l'importante conclusion suivante : le gravimètre N° 186 diminue la valeur du paramètre  $\delta$  d'à peu près 1,2 % c'est à cause de cela qu'il est prématuré de parler de la différence de ce paramètre entre Novossibirsk et Alma-Ata. On a maintenant installé à Novossibirsk un groupe de quatre gravimètres, y compris le N° 186 dont les résultats donneront une réponse définitive à cette question.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Melchior P. Trans-europan tidal gravity profiles. - Proc. of the 7th intern. simp. on earth tides. Budapest: 1976, Academia, KIADO, p. 87-120.
2. Сарычева Ю.К. Числа Лява по результатам наблюдений за приливными вариациями силы тяжести в Новосибирске. - Геология и геофизика, 1973, № 8, с. 112-115.
3. Перцев Б.П. Влияние морских приливов на приливные наблюдения в Восточной Европе. - Докл. на 3-м Международном симпозиуме по геодезии и астрономии в Триесте, 1977 г.
4. Wenzel H.G. The correction of tidal development to ellipsoidal normal. - BIM, 1974, N 68, p. 3784-3788.
5. Парийский Н.Н., Перцев Б.П. Влияние инерционных сил на наблюдаемые приливные изменения силы тяжести и наклонов. - Наст. сборник, с. 22-35.
6. Волков В.А., Шимон З., Варга П. Методическое руководство по приливным наблюдениям с гравиметрами. Прага: КАПГ, 1976.

ENREGISTREMENT DES VARIATIONS DE MAREES DE LA FORCE  
DE PESANTEUR A TIHANY (HONGRIE)

V.A. Volkov, P. Varga, S.N. Barsenkov, D.G. Gridniev, B. Bodri

Etude des marées terrestres, Naouka, pp. 162-171, Moscou 1980.

Le premier enregistrement de marées à l'Observatoire Géophysique de Tihany a été organisé lors de l'Année Géophysique Internationale en 1957-1958 {1}.

En 1962 on y a installé le gravimètre "Askania" GS-11 N° 190 qui a fourni, jusqu'au début des années 70, une série assez longue (886 jours). Les résultats de la réduction par la méthode Venedikov montrent que pour des valeurs relativement normales des facteurs d'amplitude  $\delta$ , les différences de phase  $\Delta\phi$  sont anormalement grandes à Tihany mais assez stables dans le temps, ce qui a été confirmé par les analyses de séries partielles de plus petite durée.

	$O_1$	$K_1$	$N_2$	$M_2$	$S_2$
$\delta$	1,185	1,145	1,162	1,151	1,185
$\Delta\phi^\circ$	-2,5	-3,3	-2,6	-4,0	-9,6

Suivant la méthode décrite en {2, 3} on a déterminé la non linéarité de l'échelle du galvanomètre extérieur et le retard instrumental du système enregistreur. On peut considérer le système comme linéaire dans les limites des erreurs d'observations et les valeurs du retard instrumental (0°17 pour les ondes diurnes et 0°33 pour les semidiurnes) ne peuvent expliquer complètement les valeurs anormalement grandes des phases.

Pour éclaircir la question on a inclus dans le plan de travail du groupe 3.3 KAPG, l'enregistrement des marées en coopération soviéto-hongroise.

La première étape a été réalisée à l'Observatoire d'Obninsk (près de Moscou) où le gravimètre GS-11 N° 190 a été installé pendant près d'un an (février à décembre 1973).

Ensuite ce gravimètre a été étudié sur une plateforme oscillatoire décrite en {4, 5, 6}. Les résultats donnés en {14} ont montré que les phases anormales à Tihany ont un caractère instrumental.

Dans la seconde étape V.A. Volkov et D.G. Gridniev ont installé à Tihany, en septembre 1973, le gravimètre GS-15 N° 220 appartenant à l'Institut de Physique Terrestre de l'URSS.

La presqu'île de Tihany (lac Balaton) sur laquelle se trouve l'observatoire est située dans la partie centrale de la Hongrie occidentale. Les matériaux couvrant la presqu'île sont le tuff volcanique, la marne, l'argile, des grès, du loess. Au nord-ouest de la presqu'île il se produit souvent des glissements de terrain. La presqu'île est coupée longitudinalement par une fracture. Directement sous le bâtiment de la station on trouve de la marne et de l'argile avec du calcaire.

Les coordonnées de la station sont  $\phi = 46^{\circ}54$ ;  $\lambda = 17^{\circ}52$ ;  $h = 145$  m. La hauteur au-dessus du niveau du lac Balaton est de 55 m.

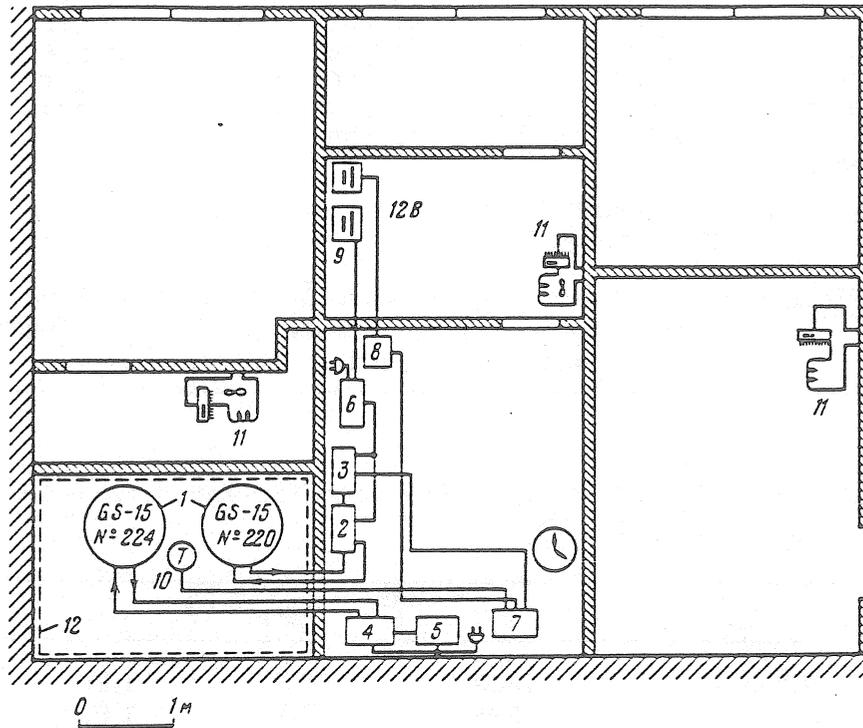
A la fin de juin 1974 il y eut, dans l'enregistrement, pour causes techniques, trois grandes interruptions. On a donc obtenu trois séries continues : 25.IX.1973 à 17.I.1974 - (115 jours); 23.I à 16.IV.1974 - (84 jours); 20.IV à 11.VI.1974 - (53 jours) soit une durée complète de 252 jours.

Le gravimètre a été équipé d'un pupitre de commande garantissant une tension constante pour l'amplification et le filtre actif de Butterworth. L'enregistreur est un compensographe "Siemens" {7}.

On a installé le gravimètre GS-15 N° 224 (chaire de Géophysique de l'Université de Budapest, B. Bodri) sur le troisième socle du local d'enregistrement dans les premiers jours de février 1974. Cet appareil a été équipé d'un même pupitre de commande et d'un compensographe comme le gravimètre N° 220 mais avait en outre un équipement pour la calibration électromagnétique ce qui a garanti une plus haute précision. L'enregistrement continu avec le gravimètre N° 224 a couvert 140 jours du 4.II au 23.VI.1974.

En décembre 1974 on a commencé un enregistrement avec le gravimètre BN-07 (gravimètre GS-12 N° 190 modernisé par M. Bonatz) d'une durée de 40 jours du 11.XII.1974 au 19.I.1975 (P. Varga). Ce gravimètre a été placé dans une gaine de protection faite à l'Université de Bonn. L'enregistrement a été fait par le même compensographe sur lequel on avait réalisé l'enregistrement jusqu'à la révision du gravimètre.

On a assuré une alimentation continue en tension de 220 V : en cas de débranchement du réseau le transformateur de tension qui équipe les pupitres de commande et les enregistreurs en courant alternatif est branché automatiquement. La variation de température dans le local a été constamment contrôlée et n'a jamais dépassé quelques centièmes de degré par jour.



Dispositions dans la station de Tihany :

1 - gravimètres; 2, 4 - bloc de commande; 3, 5 - compensographe "Siemens"; 6 - transformateur de tension; 7 - enregistreur du thermographe; 8 - redresseur; 9 - batteries d'accumulateurs 12 V; 10 - thermographe; 11 - chauffages électriques avec thermomètre à contact; 12 - écran.

Les coefficients de transfert d'échelle ont été calculés d'après la formule  $C = a/k$  (en microgal/mm) où  $K$  est l'échelle d'enregistrement (en millimètres par division);  $a$  - est le coefficient d'étalonnage (en microgal/div.). La calibration a été faite par la méthode des déplacements doubles {6} pour les gravimètres N° 220 et 224 avec une fréquence bimensuelle environ (table 1, 2). Les coefficients  $a$  ont été déterminés au début et à la fin des enregistrements.

Pour l'analyse harmonique on a utilisé des coefficients  $C$  constants obtenus par moyenne des valeurs correspondantes des tables 2 et 3. Pour le gravimètre N° 220 on a pris la valeur moyenne  $\bar{C}_2$ .

Table 1. Détermination des coefficients d'échelle (C, microgal/mm) du gravimètre N° 220.

Date	C	Date	C	Date	C
1973 r.		1974 r.		1974 r.	
27.IX	2,034	3.I	1,918	10.V	2,043
9.X	2,080	16.I	2,178	30.V	2,145
17.X	2,167*	13.II	2,107	11.VI	2,112
31.X	2,085	4.III	2,056	13.VI	2,118
14.XI	2,057	14.III	2,066	14.VI	2,116
16.XI	2,169*	29.III	2,092	24.VI	2,073
30.XI	2,085	15.IV	2,155		
20.XII	2,035				
Moyenne	$\bar{C}_1$ 2,090 $\pm$ 0,0130				
	$\bar{C}_2$ 2,0858 $\pm$ 0,0087				

Remarque : Pour obtenir la moyenne  $\bar{C}_2$  on n'a pas tenu compte des valeurs marquées d'une astérisque dont l'écart à  $\bar{C}_1$  dépasse 3,5 %.

Table 2. Résultats de la détermination des coefficients d'échelle (C, microgal/mm) du gravimètre N° 224.

Date	C	Date	C
4.II 1974 r.	1,903	19.IV	1,906
23.II	1,898	8.V	1,916
20.III	1,906	12.VI	1,914
Moyenne	1,9072 $\pm$ 0,0028		

L'étalonnage du gravimètre sur un polygone a donné une constante d'étalonnage E, différant un peu de la valeur donnée par le constructeur. C'est pourquoi pour l'analyse, le coefficient  $\bar{C}_2 = 2,0858$  a été multiplié par 0,9977 donnant C = 2,0810 microgal/mm. Pour le gravimètre n° 224 on a utilisé le coefficient moyen C = 1,9072 microgal/mm (voir Table 3). Pour le gravimètre BN-07 on a pris le coefficient C = 2,467 microgal/mm  $\pm$  0,2 % obtenu par deux calibrations concordant entre elles au début (6.XII.1974) et à la fin (22.I.1975) des enregistrements.

Pour le gravimètre N° 220 l'analyse harmonique a été faite deux fois par la méthode Venedikov {8} (P. Melchior au Centre International des Données à Bruxelles où ont été expédiées les ordonnées et S.N. Barsenkov) et par la méthode de Fourier (P. Varga).

Pour le gravimètre N° 224 l'analyse a été faite par la méthode Venedikov (B. Bodri et S.N. Barsenkov). Les données du gravimètre BN-07 ont été réduites par la méthode de Chojnicki {9} (M. Bonatz).

Les résultats sont donnés dans la Table 3. On a introduit dans les phases obtenues pour les gravimètres N° 220 et 224 les corrections dues au retard instrumental déterminées en tenant compte des propriétés du filtre de Butterworth {6} : pour l'onde  $O_1$  : -0,89;  $K_1$  : -0,96;  $N_2$  : -1,82;  $M_2$  : -1,85;  $S_2$  : -1,92.

Le gravimètre BN-07 est équipé à la sortie d'un filtre actif garantissant une très faible constance du temps si bien que le retard instrumental de cet appareil peut pratiquement ne pas être pris en compte. Les corrections instrumentales aux facteurs d'amplitude  $\delta$  sont aussi pratiquement nulles.

La table 4 montre que les observations à Tihany ne donnent pas de retard de phase anormal. Les valeurs anormales obtenues précédemment pour le gravimètre N° 190 avaient apparemment un caractère instrumental.

Les valeurs moyennes pondérées  $\delta_p$  pour les 4 ondes de marées principales ( $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ) pour les trois gravimètres (avec poids  $p$ -T, où T est la durée des observations pour chaque gravimètre) sont :

$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
1.1882	1.1843	1.1435	1.1619
± 7	± 15	± 18	± 34

Pour l'onde  $N_2$  les moyennes pondérées n'ont pas été calculées car pour cette onde nous n'avions pas les cartes cotidales nécessaires au calcul des corrections des marées océaniques.

Les moyennes pondérées  $\delta_p$  avec poids  $P_i = 1/\epsilon^2$  où  $\epsilon^2$  sont les erreurs quadratiques moyennes correspondantes, sont

$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
1.1885	1.1850	1.1437	1.1609
± 6	± 17	± 6	± 40

Les valeurs pondérées  $\delta_p$  pour chaque onde et leurs erreurs ont été calculées d'après les formules :

$$\delta_p = \delta_1 k_1 + \delta_2 k_2 + \delta_3 k_3, \quad \epsilon_{p_i} = \sqrt{\epsilon_1^2 k_1^2 + \epsilon_2^2 k_2^2 + \epsilon_3^2 k_3^2},$$

$$\text{où } k_j = p_i / \sum_{j=1}^3 p \quad (i = 1, 2, 3)$$

Pour introduire les différentes corrections dans les facteurs d'amplitude on a utilisé les valeurs moyennes provenant de  $\delta_p$  avec  $P = T$  et avec

Table 3. Résultats de l'analyse harmonique (en tenant compte du retard instrumental).

Gravi- mètre	Utilisateur	Méthode	Nombre de jours	$\delta$						$\Delta\phi^\circ$																					
				$O_1$		$K_1$		$N_2$		$M_2$		$S_2$		$O_1$		$K_1$		$N_2$		$M_2$		$S_2$									
220	Melchior	Venedikov	252	1,158	1,145	1,176	1,190	1,188	0,05	-0,13	1,14	0,34	0,22	±	3	±	2	±	7	±	1	±	3	±	0,14	±	0,10	±	0,34	±	0,07
	Barsenkov	idem		1,157	1,140	1,172	1,188	1,188	0,24	-0,17	0,49	0,39	0,01	±	2	±	2	±	5	±	1	±	2	±	0,12	±	0,08	±	0,27	±	0,05
	Varga	Fourier		1,158	1,142	1,171	1,189	1,182	0,61	-0,24	-1,95	-0,10	0,50	±	1	±	2	±	9	±	1	±	4	±	0,30	±	0,32	±	0,67	±	0,21
		<u>Moyenne</u>		1,158	1,142	1,173	1,189	1,186	0,21	-0,16	0,35	0,33	0,17	±	2	±	2	±	7	±	1	±	3	±	0,12	±	0,09	±	0,27	±	0,06
		Venedikov		1,166	1,147	1,168	1,186	1,188	0,56	0,38	0,34	0,51	-0,27	±	7	±	5	±	14	±	3	±	5	±	0,32	±	0,23	±	0,59	±	0,11
224	Bodri	Venedikov	140	1,166	1,146	1,168	1,188	1,189	0,39	0,41	0,29	-0,08	±	8	±	5	±	14	±	3	±	5	±	0,32	±	0,22	±	0,60	±	0,11	
	Barsenkov	idem		1,166	1,146	1,168	1,187	1,188	0,48	0,40	0,32	0,52	0,23	±	8	±	5	±	14	±	3	±	5	±	0,32	±	0,22	±	0,60	±	0,11
		<u>Moyenne</u>		1,172	1,144	1,167	1,187	1,186	-0,33	-0,24	1,14	0,63	-0,09	±	2	±	2	±	9	±	2	±	4	±	0,10	±	0,06	±	0,43	±	0,09
BN-07	Bonatz	Chojnicki	40																												

$P_1 = 1/\epsilon^2$  (Table 4). Dans cette même table sont données les corrections de Wenzel {10} pour l'inertie et l'accélération de Coriolis {11} des marées océaniques {12} (calculées par B.P. Pertsev) et la résonance avec la nutation diurne {13} pour l'onde  $K_1$ . En calculant de façon analogue les moyennes pondérées  $\Delta\phi^\circ$  nous avons, avec les poids  $p = T$  :

$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
0,42	0,05	-0,01	0,25
$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,16$

avec les poids  $p = 1/\epsilon^2$  :

$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
0,44	0,10	-0,14	-0,08
$\pm 0,09$	$\pm 0,09$	$\pm 0,09$	$\pm 0,18$

Après avoir pris les moyennes arithmétiques de  $\Delta\phi$ , obtenues avec les différents poids et après les avoir corrigées des marées océaniques {3} nous obtenons les valeurs  $\Delta\phi$  finales pour chaque onde (table 5).

Les erreurs sur les valeurs corrigées  $\delta$  et  $\Delta\phi$  sont données dans les premières lignes des tables 4 et 5. Nous exagérons apparemment la précision de ces valeurs corrigées puisque nous ne tenons pas compte de l'erreur des corrections des marées océaniques étant donnée la précision inconnue des cartes cotidiales.

Après avoir calculé pour Tihany la valeur moyenne pondérée de  $\delta$  en fonction des quatre ondes ( $M_2, S_2, K_1, O_1$ ) avec les poids  $P = A_T/\epsilon^2$  où  $A_T$  sont les amplitudes théoriques des ondes de marées (voir table 5), nous obtenons  $\delta (M_2, S_2, K_1, O_1) = 1,1670 \pm 0,0003$ . Si on calcule la valeur moyenne pour les trois ondes (après avoir éliminé l'onde  $K_1$  afin de ne pas tenir compte de la correction de résonance),  $\delta (O_1, M_2, S_2) = 1,1668 \pm 0,0002$ . Si nous calculons les moyennes arithmétiques  $\delta (O_1, K_1, M_2, S_2) = 1,1670 \pm 0,0003$  et  $\delta (M_2, S_2, O_1) = 1,1667 \pm 0,0021$ . On obtient pratiquement les mêmes résultats pour chaque type de moyenne.

Pour les valeurs moyennes  $\Delta\phi$  avec les poids  $P = \Delta_T/\epsilon^2$  nous aurons : pour les ondes diurnes  $\Delta\phi_d = -0,15 \pm 0,22$ ; pour les ondes semidiurnes  $\Delta\phi_{sd} = -0,14 \pm 0,09$ . Calculer les valeurs moyennes simples  $\Delta\phi$  n'a pas de sens puisque la précision des phases calculées dépend très fortement des valeurs des amplitudes des ondes de marées.

Table 4. Introduction des corrections dans les valeurs moyennes pondérées  $\delta$ .

$\delta$ et corrections	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Non corrigées	1,1884	1,1846	1,1436	1,1614
Corrections à la normale ellipsoïdale	$\pm 0,0042$	$\pm 0,0042$	$\pm 0,0002$	$\pm 0,0002$
d'inertie des marées océaniques	-0,0034	-0,0037	-0,0013	-0,0011
	-0,0225	-0,0174	0,0031	0,0052
de résonance	-	-	0,0220	-
Corrigées	1,1668	1,1677	1,1676	1,1657
	$\pm 0,007$	$\pm 0,016$	$\pm 0,012$	$\pm 0,037$
$A_T$ , $\text{мкГал}$	35,2	16,2	43,6	31,0

Table 5. Introduction des corrections des marées océaniques dans les valeurs moyennes pondérées  $\Delta\phi$ .

$\Delta\phi$ et corrections	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
Non corrigées	0,43	0,08	-0,08	0,08
	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,09$	$\pm 0,18$
Corrections des marées océaniques	-0,66	0,24	-0,11	-0,03
Corrigées	-0,23	0,31	-0,19	0,05
	$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,18$

Nous comparerons maintenant les valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  obtenues avec les gravimètres GS-15 et BN-07 aux valeurs correspondantes obtenues avec le gravimètre GS-11 N° 190. Pour cela nous introduisons dans les dernières corrections instrumentales en {14} (respectivement égales pour  $\delta$  et  $\Delta\phi$  -0,002 et 3,3 pour les ondes semidiurnes et 0,000 et 1,7 pour les diurnes) et les corrections dont les valeurs sont données dans les tables 4 et 5. Comme le montre la table 6, les différences dans  $\delta$  pour les ondes  $M_2$  et  $O_1$  sont de 2 à 3 % et pour les ondes  $S_2$  et  $K_1$  -0,2 % (les mêmes différences ont été à peu près conservées jusqu'à l'introduction des corrections).

La valeur moyenne de  $\delta$  pour les quatre ondes pour le gravimètre N° 190 est 1,163 et la valeur moyenne de  $\delta$  pour les trois autres gravimètres 1,164 c'est-à-dire qu'elles ne diffèrent guère des valeurs moyennes obtenues dans d'autres stations.

Table 6. Comparaison des résultats obtenus pour le gravimètre N° 190 et pour les trois autres gravimètres.

Gravimètre	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_2$
		$\delta$		
N° 190	1,132	1,170	1,170	1,189
N° 220, 224, BN-07	1,167	1,168	1,168	1,166
		$\Delta\phi$		
N° 190	-1,4	-6,1	-1,7	-0,8
N° 220, 224, BN-07	-0,3	0,3	-0,2	0,1

Après correction, les valeurs  $\Delta\phi$  pour le gravimètre N° 190 sont également un peu modifiées même si elles restent encore plus grandes que les valeurs correspondantes obtenues pour les trois autres gravimètres.

On peut en conclure que les valeurs de  $\delta$  et  $\Delta\phi$  déterminées à Tihany avec le gravimètre N° 190 s'expliquent par le bruit instrumental et non par leurs valeurs anormales dans cette région. Pour une recherche ultérieure, le gravimètre N° 190 a été placé en enregistrement à Obninsk. Nous en parlerons dans le travail {14}.

En conclusion, les auteurs expriment leur reconnaissance au Professeur P. Melchior et au Professeur M. Bonatz pour la réalisation de l'analyse harmonique d'une partie des données observées, à I. Sato et V.P. Varganova pour la participation dans la réduction initiale des données, à B.P. Pertsev pour le calcul des corrections des marées océaniques.

BIBLIOGRAPHIE.

1. Oszlaczky Sz., Toth G. A Földi Anapaly gravitacivs. – Geofiz. közl. 1964, vol. 1, p. 243–258.
2. Волков В.А. Влияние нелинейности шкалы гальванометра на результаты наблюдений земных приливов. – В кн.: Изучение земных приливов. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 98–109.
3. Волков В.А. Определение фазовых характеристик приливообразующей системы гравиметр – гальванометр. – В кн.: Приливные изменения силы тяжести. М.: Наука, 1964, с. 71–82.
4. Волков В.А., Парийский Н.Н., Перцев Б.П. Первые результаты определения фазовой характеристики приливорегирующей системы гравиметр – гальванометр с помощью подвешенного груза. – В кн.: Комплексные геофизические наблюдения в Обнинске. Обнинск, 1970, с. 128–147.
5. Волков В.А., Гусева Ф.П., Барсенков С.Н. Определение динамических характеристик приливорегирующей системы гравиметр–гальванометр с помощью платформы эталонирования гравиметров (ПЭГ). – В кн.: Медленные движения земной коры. М.: Наука, 1972, с. 140–156.
6. Волков В.А., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. и др. Первые результаты регистрации земных приливов в Обнинске гравиметром "Аскания" GS-15. – В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 43–56.
7. Описание и инструкция по эксплуатации аппаратуры для регистрации приливных вариаций силы тяжести к гравиметру GS-15 системы "Аскания". М.: ВИНТИ, 1972. 42 с.
8. Venedikov A.P. Une méthode pour l'analyse des marées terrestres a partir d'enregistrement de longueur arbitraire. – Bull. Acad. roy. Belg. cl. Sci., 1966, t. LIII, fasc. 3, p. 1463–1475.
9. Chojnicki T. Determination des paramètres de marée par la compensation des observations au moyen de la méthode de moindres carrés. – Publs. Inst. Geophys. Acad. Sci., W. 1972, vol. 55.
10. Wencel H.G. The correction of tidal force development to normal. – BIM, 1974, N 68, p. 3784–3790.
11. Парийский Н.Н., Перцев Б.П. Влияние инерционных сил на наблюдаемые приливные изменения силы тяжести и наклонов. – Наст. сборник, с. 22–35.
12. Перцев Б.П. О влиянии морских приливов на приливные вариации силы тяжести. – Изв. АН СССР. Физика Земли, 1966, № 10, с. 25–29.
13. Молоденский М.С. Теория нутации и суточных земных приливов. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 40 с.
14. Волков В.А., Варга П., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. Советско-венгерские измерения земных приливов в Обнинске. – Наст. сборник, с. 125–136.

## OBSERVATIONS DES MAREES DE PESANTEUR A POULKOVO EN 1976-1977

V.A. Volkov, S.N. Barsenkov, S.S. Zassimov, F.P. Gousseva, P. Varga,  
Z. Simon, M.V. Kramer, M.V. Kouznetsov.

Etude des marées terrestres, Naouka - Moscou, 1980, pp. 137-152.

(abrégé)

Les observations des marées à Poulkovo avec participation de l'URSS, de la Hongrie et de la Tchécoslovaquie ont été faites suivant le plan KAPG, partie d'un programme d'étude de la répartition des paramètres de marées terrestres en Europe Orientale. Dans le cadre de ce programme on a déjà réalisé des observations à Tihany (Hongrie) {1}, Pecni (Tchécoslovaquie) {2} et Obninsk (URSS) {3}.

On a comparé à Poulkovo les résultats obtenus avec différents appareils : gravimètres GS-15 N° 220 (Institut de Physique de Terre; Moscou), BN-07 (Institut de Géophysique de Hongrie Eötvös Budapest) et GS-12 N° 201 (Institut de recherches de Géodésie, Topographie et Cartographie, Prague).

Les observations ont été faites dans un pavillon sismique souterrain situé sur le territoire de l'Observatoire Astronomique Principal de l'Académie des Sciences d'URSS à Poulkovo. Les coordonnées en sont  $\phi = 59^{\circ}46'$ ,  $\lambda = 30^{\circ}19'$ ; l'altitude au-dessus du niveau de la mer est de 65 m.

La station est située dans une région appelée Poulkovo-Kocrovskii, partie inférieure de la terrasse du plateau silurien formé d'un ensemble de roches d'âge cambro-silurien. Lors des glaciations les dépôts siluriens ont été érodés à la suite de quoi les argiles cambriennes forment un limon caractérisant la région de Poulkovo dont la surface de couverture est divisée par l'érosion glaciaire. Le bâtiment est situé à 300 m du bâtiment principal de l'Observatoire Astronomique près de la pente nord du massif de Poulkovo, sur une couche de 10 mètres de terres argileuses et de sables couverts de lentilles d'argiles cambriennes.

Le sous-sol est à une profondeur de 6 m contigü au bâtiment de la station et lui est relié par des escaliers. On a pris des mesures spéciales pour maintenir une température constante : murs en béton triples séparés par des corridors. L'épaisseur totale des murs extérieurs est de 2,3 m, celle des murs intérieurs de 0,5 m. Le plafond est double avec un espace libre (Fig. 1).

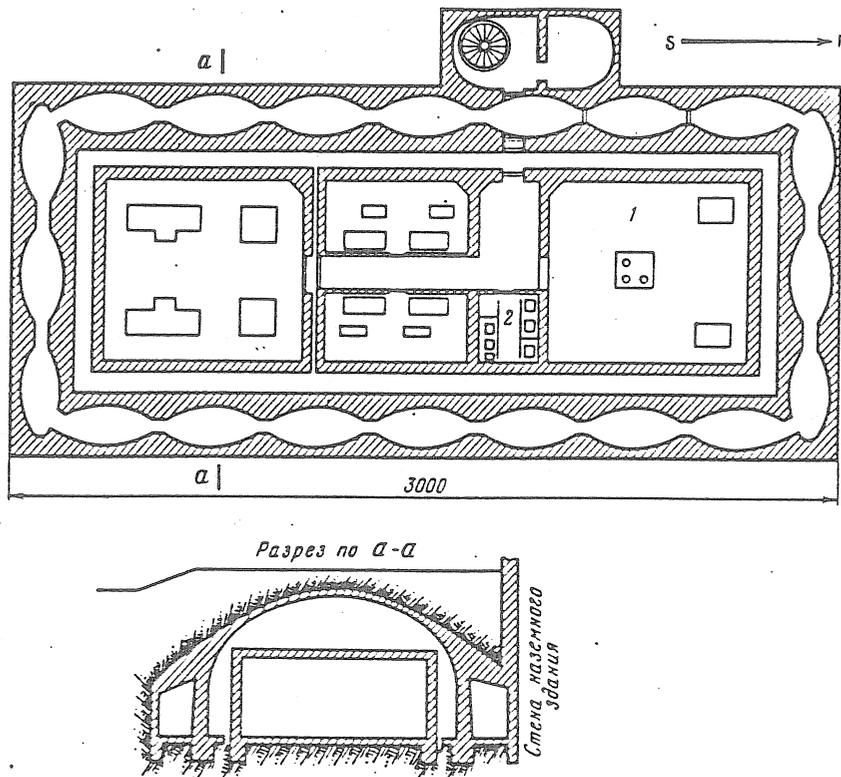


Fig. 1. Pavillon souterrain de la station séismique de Poulkovo de l'Institut de Physique de la Terre. Ac. des Sc. URSS.

Les gravimètres ont été installés au centre de la salle Nord 1 (7 m x 7 m) sur un socle commun de 1,5 x 1,5 m et de hauteur 0,6 m. Les bases des socles se trouvent sous le sol et en sont séparées. Les enregistreurs et horloges à quartz sont déposés dans une salle voisine.

La tension du réseau urbain a été stabilisée par un stabilisateur à ferro-résonance.

Les thermostats des gravimètres N° 220, 201 étaient alimentés sous une tension de 6 V, stabilisée avec une précision de 0,1 V. En parallèle on a branché des batteries de 12 V pour éviter les interruptions lors de coupures du réseau urbain.

Table 1. Valeur des coefficients d'échelle (C, microgal/mm) pour les gravimètres N° 220 et 201.

Gravimètre N° 220		Gravimètre N° 201		Gravimètre N° 220		Gravimètre N° 201	
Date	C	Date	C	Date	C	Date	C
1976 r.		1976 r.		1976 r.		1976 r.	
24.V	2,000	6.V	3,710	6.IX	2,029	6.IX	3,854
15.VI	2,002	7.V	3,728	17.IX	1,971	16.IX	3,871
15.VI	1,979	11.V	3,719	28.IX	2,042	28.IX	3,882
20.VI	2,027	29.V	3,741	8.X	2,040	8.X	3,849
21.VI	2,049	28.VI	3,868	21.X	2,041	21.X	3,851
29.VI	2,055	7.VII	3,873	12.XI	1,978		
7.VII	2,057	16.VII	3,877	23.XII	2,024		
16.VII	2,095	29.VII	3,888	1977 r.			
28.VII	2,083	8.VIII	3,894	5.I	2,007		
16.VIII	2,069	16.VIII	3,897	19.I	2,008		
31.VIII	2,059	31.VIII	3,870	$\bar{C}=2,0306 \pm 0,0086$			

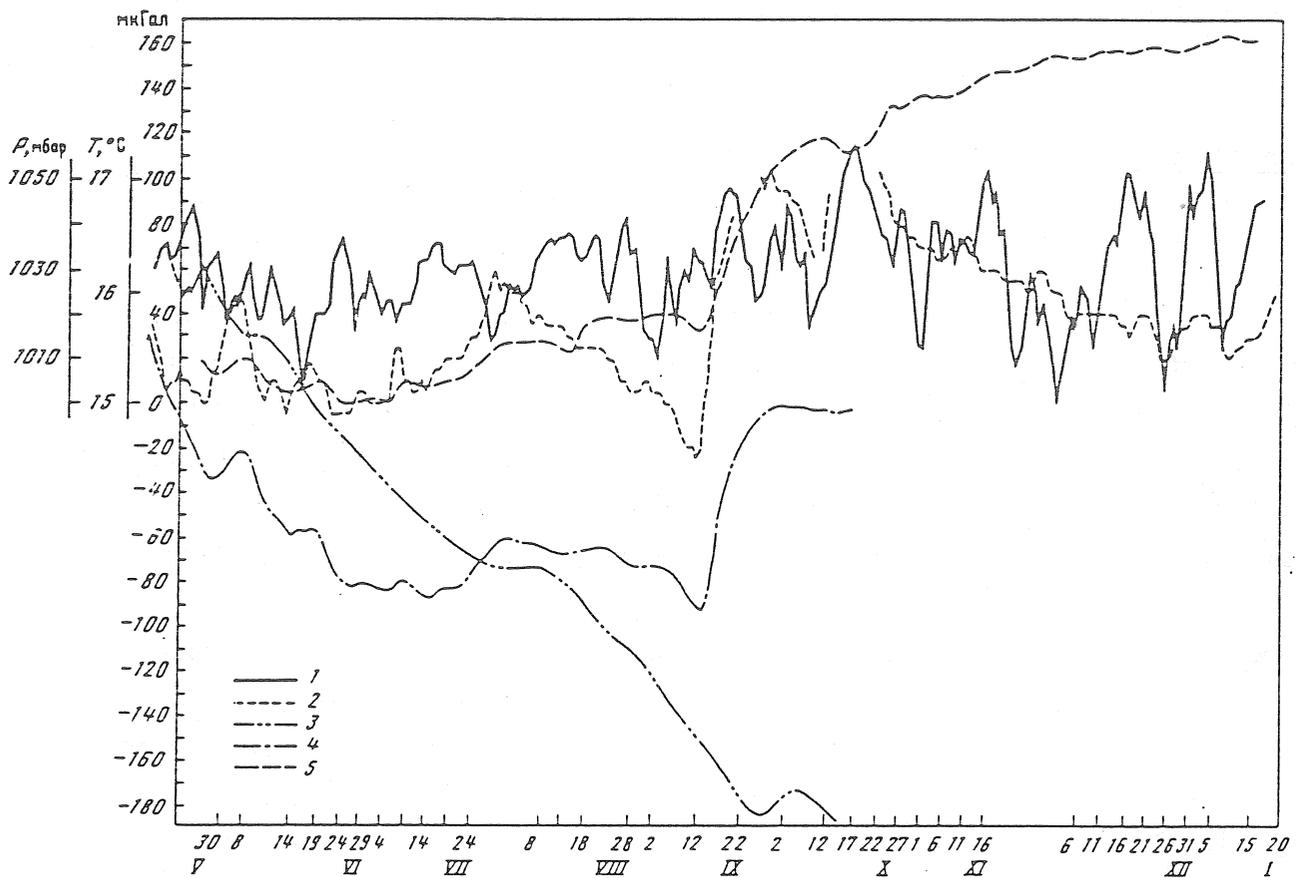


Fig. 2. Graphiques des dérives, de la pression et de la température  
 1 - pression, 2 - température, 3 à 5 dérive (3 - gravimètre N° 201, 4 - BN-07, 5 - N° 220).

Gravimètre GS-15, N° 220 : La vitesse de l'enregistreur est de 30 mm/h. Sur toute la durée des enregistrements on a déterminé 3 fois la valeur de division au moyen de la bille : 7.V.1976 :  $a = 49,120$ ; 12.V.1976 :  $a = 49,178$ ; 19.I.1977 :  $a = 49,097$ . La valeur moyenne  $\bar{a} = 49,132 \pm 0,042$   $\mu\text{gal/div.}$  avec une erreur de 0,1 % est utilisée dans la réduction. A peu près tous les 10 jours on a fait une détermination du coefficient d'échelle par une série de 9 déplacements du micromètre ( $K$ , mm/div.), toutes les 12 minutes. Une valeur du coefficient est obtenue par la somme de deux déplacements contigus réciproquement opposés. Ainsi chaque détermination donne huit valeurs dont on a pris la moyenne  $K_i$ . Les valeurs  $C = \bar{a}/K_i$  sont données dans la table 1 qui permet de constater que la sensibilité est très stable.

Avant le début des observations on a vérifié la non-linéarité de l'enregistreur et ses caractéristiques de phases. Comme précédemment {6} la non linéarité était inférieure à 0,1 %. Le retard instrumental déterminé d'après la méthode des déplacements isolés a conservé sa valeur initiale {6} (voir les corrections instrumentales  $\Delta\phi$  dans la table 4).

Gravimètre BN-07 : Gravimètre N° 190 de l'Institut Géophysique Eötvös de Hongrie qui a été modifié en 1974 en système capacitif par le Professeur M. Bonatz.

L'échelle d'enregistrement a été déterminée avant et après les observations : V.1976 :  $C_1 = 2,4721$   $\mu\text{gal/mm.}$ ; X.1976 :  $C_2 = 2,4854$   $\mu\text{gal/mm.}$  Pour la réduction on a utilisé la valeur moyenne  $C_{\text{moy}} = 2,4788$   $\mu\text{gal/mm.}$  Le filtre actif appliqué dans le gravimètre BN-07 a une constante de temps très petite si bien que l'on peut ne pas tenir compte de la correction du retard instrumental de cet appareil. La vitesse de l'enregistreur est de 20 mm/h.

Gravimètre N° 201 : photoélectrique, équipé d'un amplificateur électronique 4194 DC Hewlett Packard et d'un enregistreur Multicord - 250 avec une vitesse de 10 mm/h. Ce gravimètre est équipé d'un système d'étalonnage électro-magnétique qui a été effectué à peu près tous les 10 jours. Au moment de la calibration le filtre à une grande constante de temps a été débranché. Chaque calibration comporte une série de déplacements toutes les 5 minutes. Les coefficients d'échelle sont donnés dans la Table 1. La valeur d'une division a été déterminée avant et après l'enregistrement 3.V.1976 :  $a = 48,261$   $\mu\text{gal/div.}$ ; 22.X.1976 :  $a = 48,268$   $\mu\text{gal/div.}$  On a pris la moyenne des deux valeurs :  $\bar{a} = 48,264$   $\mu\text{gal/div.}$

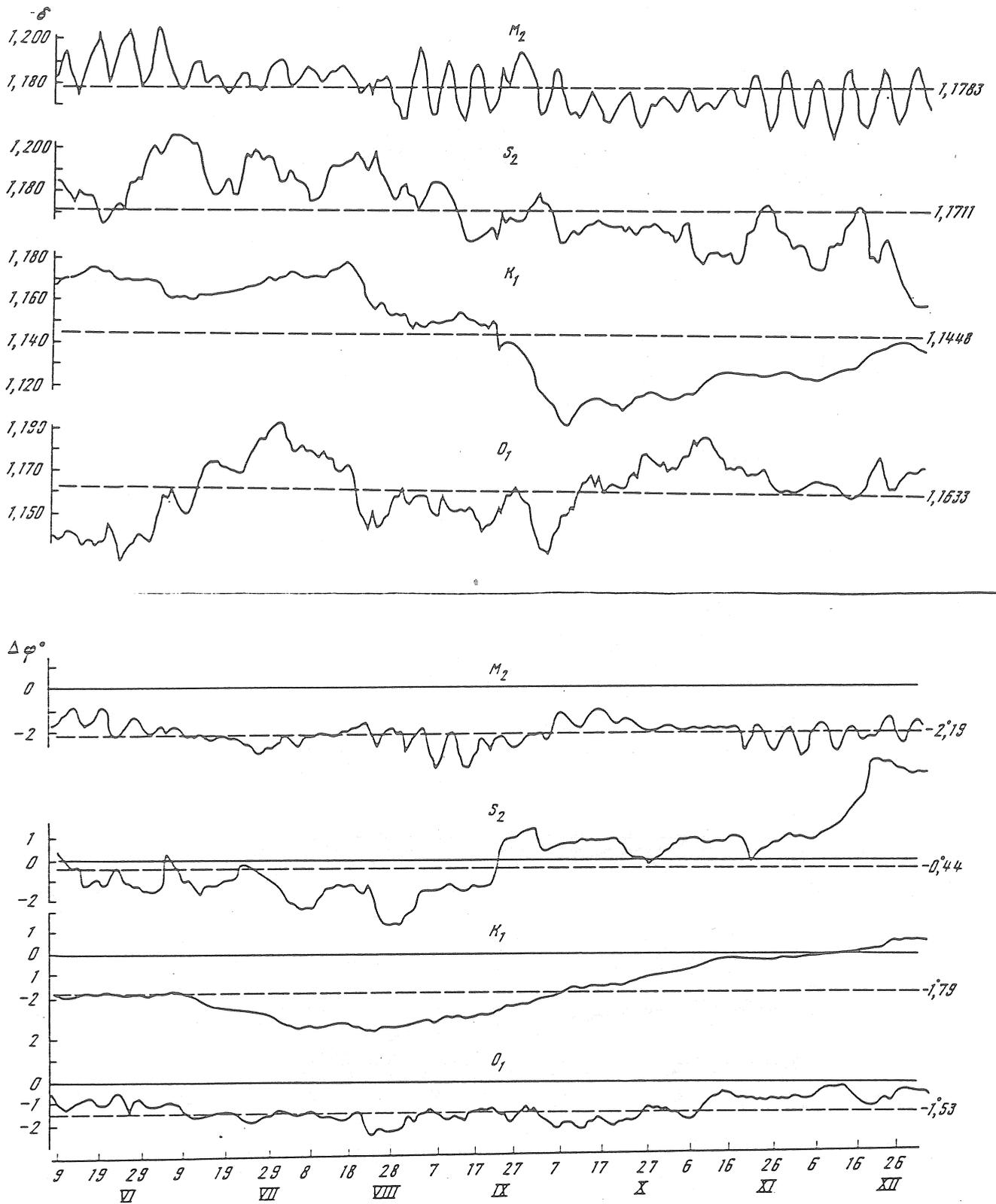


Fig. 3. Valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  d'après les résultats de l'analyse harmonique glissante; gravimètre N° 220.

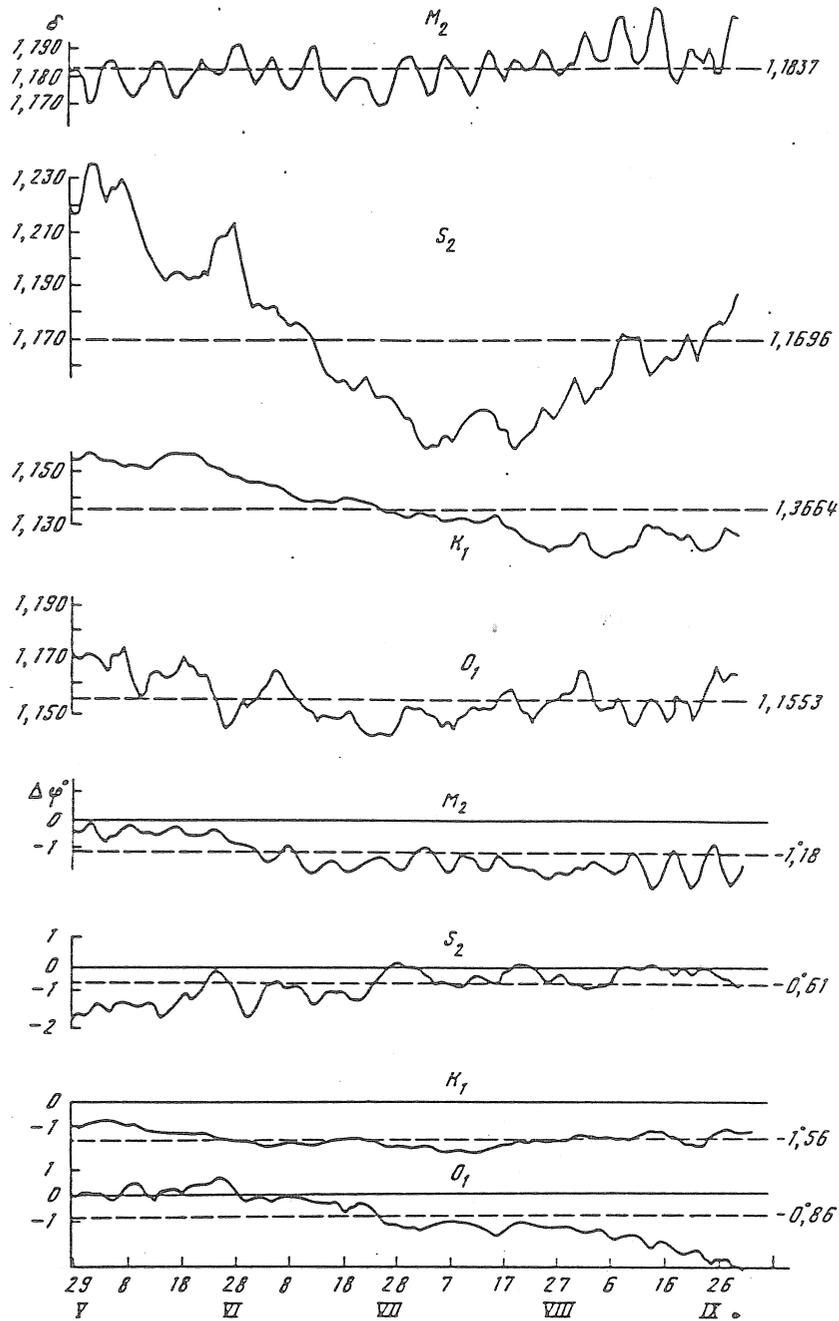


Fig. 4. Valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  d'après les résultats de l'analyse harmonique glissante de Pertsev; gravimètre BN-07.

Table 2. Résultats de l'analyse harmonique des marées à Poulkovo.

Gravimètre	Méthode	Intervalle de réduction	Nbre de jours	Ondes diurnes								Ondes semi-diurnes							
				$\delta$	$Q_1$	$O_1$	$M_1$	$P_1$	$K_1$	$I_1$	$OO_1$	$2N_2$	$N_2$	$M_2$	$L_2$	$S_2$	$K_2$		
220	Venedikov	25.V-1976 r.-	236	1,2186	1,1594	1,1502	1,1730	1,1387	1,0841	1,1456	1,1335	1,1760	1,1744	1,1510	1,1684	1,2406			
	Pertsev	15.I-1977 r.-		$\pm 251$	$\pm 44$	$\pm 451$	$\pm 85$	$\pm 32$	$\pm 633$	$\pm 1513$	$\pm 834$	$\pm 162$	$\pm 29$	$\pm 636$	$\pm 64$	$\pm 208$			
BN-07	Venedikov	13.V-20.X	161	-	1,1633	-	1,1448	-	-	-	-	1,1771	1,1783	1,1711	-	-			
	Pertsev	1976 r.		-	$\pm 64$	-	$\pm 89$	-	1,1688	1,1291	1,1408	1,1554	1,1809	1,1519	1,1682	-			
201	Venedikov	13.V-6.X	128	1,1120	1,1545	1,3523	-	1,1436	1,4056	1,1560	1,0061	1,1511	1,1580	1,2226	1,1711	-			
	Venedikov	1976 r.		$\pm 2058$	$\pm 67$	$\pm 662$	-	$\pm 44$	$\pm 962$	$\pm 2058$	$\pm 876$	$\pm 159$	$\pm 29$	$\pm 654$	$\pm 59$	-			
201	Venedikov	(1)		-	1,1553	-	1,1364	-	-	-	-	1,1525	1,1837	1,1696	-	-			
	Venedikov	(11)		$\pm 3759$	$\pm 156$	$\pm 1228$	-	$\pm 76$	$\pm 1792$	$\pm 3740$	$\pm 2226$	$\pm 386$	$\pm 64$	$\pm 1661$	$\pm 144$	-			
220	Venedikov	25.V-1976 r.-	236	$\Delta\phi^\circ$	-1,06	1,04	1,02	-1,74	-7,28	10,48	-2,42	-0,62	-2,04	-1,72	-0,27	-1,84			
	Pertsev	18.I-1977 r.		$\pm 1,18$	$\pm 0,26$	$\pm 2,25$	$\pm 0,42$	$\pm 0,16$	$\pm 3,39$	$\pm 7,97$	$\pm 4,00$	$\pm 0,76$	$\pm 0,14$	$\pm 3,01$	$\pm 0,32$	$\pm 1,36$			
BN-07	Venedikov	13.V-20.X	161	0,12	-0,67	3,43	-	-1,56	-0,14	10,47	5,86	1,24	-0,94	-1,06	-0,72	-			
	Pertsev	1976 r.		$\pm 2,01$	$\pm 0,34$	$\pm 2,82$	-	$\pm 0,22$	$\pm 4,81$	$\pm 10,57$	$\pm 4,44$	$\pm 0,78$	$\pm 0,13$	$\pm 0,26$	$\pm 0,29$	-			
201	Venedikov	13.V-6.X	128	-	-0,86	-	-	-1,58	-	-	-	0,63	-1,18	-	-	-			
	Venedikov	(1)		$\pm 3,68$	$\pm 0,63$	$\pm 5,37$	-	$\pm 0,14$	$\pm 11,82$	$\pm 20,14$	$\pm 15,72$	$\pm 1,94$	$\pm 0,32$	$\pm 1,53$	$\pm 0,72$	$\pm 10,60$			
201	Venedikov	(11)		$\pm 5,00$	$\pm 0,30$	$\pm 5,37$	-	$\pm 5,74$	$\pm 11,82$	$\pm 20,14$	$\pm 15,72$	$\pm 1,94$	$\pm 0,32$	$\pm 1,53$	$\pm 0,72$	$\pm 10,60$			
	Venedikov	(11)		$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	$\pm 5,37$	-	$\pm 5,74$	$\pm 11,82$	$\pm 20,14$	$\pm 15,72$	$\pm 1,94$	$\pm 0,32$	$\pm 1,53$	$\pm 0,72$	$\pm 10,60$			

Table 3. Introduction des corrections dans les valeurs  $\delta$  des ondes de marées principales {12, 13}.

Gravimètre	$\delta$ et Corrections	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
220	Non corrigées	1,1764	1,1698	1,1418	1,1614
		$\pm 32$	$\pm 70$	$\pm 66$	$\pm 54$
BN-07		1,1822	1,1689	1,1400	1,1549
		$\pm 28$	$\pm 110$	$\pm 53$	$\pm 54$
201		1,1590	1,1660	1,1391	1,1528
		$\pm 57$	$\pm 132$	$\pm 68$	$\pm 128$
220	Corrections du retard instrumental	0	0	0	0
BN-07		0	0	0	0
201		0,0153	0,0167	0,0039	0,0035
201	à la normale ellipsoïdale {12}	0,0059	0,0059	0,0019	0,0019
201	d'inertie {13}	-0,0033	-0,0035	-0,0011	-0,0010
220	Corrigées	1,1790	1,1722	1,1426	1,1623
		$\pm 32$	$\pm 70$	$\pm 66$	$\pm 54$
BN-07		1,1848	1,1713	1,1408	1,1558
		$\pm 28$	$\pm 110$	$\pm 53$	$\pm 156$
201		1,1769	1,1851	1,1438	1,1572
		$\pm 57$	$\pm 132$	$\pm 68$	$\pm 128$

Table 4. Introduction des corrections instrumentales dans les valeurs  $\Delta\phi$  pour les ondes de marées principales.

Gravimètre	$\Delta\phi$ et corrections	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
220	non corrigés	-2,12	-0,36	-1,83	-1,29
		$\pm 0,20$	$\pm 0,42$	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$
BN-07		-1,06	-0,66	-1,56	-0,76
		$\pm 0,19$	$\pm 0,32$	$\pm 0,20$	$\pm 0,45$
201		-9,39	-9,90	-5,57	-5,54
		$\pm 0,31$	$\pm 0,66$	$\pm 0,44$	$\pm 0,46$
220	Corrections du retard instrumental	1,85	1,92	0,96	0,89
BN-07		0	0	0	0
201		8,87	9,17	4,63	4,29
220	Corrigées	-0,27	1,56	-0,87	-0,40
		$\pm 0,20$	$\pm 0,42$	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$
BN-07		-1,06	-0,66	-1,56	-0,76
		$\pm 0,19$	$\pm 0,32$	$\pm 0,20$	$\pm 0,45$
201		-0,52	-0,73	-0,94	-1,25
		$\pm 0,31$	$\pm 0,66$	$\pm 0,44$	$\pm 0,46$

Dans la réduction on a utilisé une échelle variable avec interpolation linéaire entre les valeurs mesurées.

L'amplitude et les corrections de phase pour les ondes principales sont données dans les tables de 3 et 4. La correction moyenne journalière des horloges ne dépassait pas  $\pm 1$  s. On a enregistré de manière continue la température de la salle et on a enregistré la pression atmosphérique.

La figure 2 montre que la température au cours des observations variait apparemment de façon accidentelle et l'allure journalière de la variation dans la plupart des cas a atteint  $0,1 - 0,2^\circ$ . Dans la variation de la pression, il y a, à côté de la composante accidentelle une allure périodique d'une période de 14 à 16 jours et d'amplitude double de 35 à 40 millibars.

Sur ce même dessin on a reporté les variations de la dérive des gravimètres. La dérive du gravimètre N° 201 n'a pas de lien apparent avec la pression et la température et a un caractère monotone quasi linéaire. Les variations moyennes de la dérive par jour est de 2 à 3  $\mu\text{gal}$  pour les gravimètres N° 220 et BN-07 pour lesquels on constate une dépendance apparente en fonction de la température. Le gradient diurne oscille en conformité avec la variation de la température pour le gravimètre N° 220 de 1 à 2  $\mu\text{gal}$  par jour (dans la plupart des cas) jusqu'à 5  $\mu\text{gal}$  dans les périodes de grandes variations de température. Pour le gravimètre BN-07 le gradient de la dérive oscille de 2 à 3 jusqu'à 7  $\mu\text{gal}/\text{jour}$ .

En période d'enregistrement l'humidité relative dans la salle s'est maintenue dans les limites de 75 %.

Réduction des données. L'enregistrement avec le gravimètre BN-07 a été fait du 13.V au 20.X.1977 (161 jours ou 3864 h.) avec le gravimètre N° 201 du 12.V au 9.X (148 jours ou 3552 h.) et avec le gravimètre N° 220 du 25.V.1976 au 15.I.1977 (236 jours ou 5664 h.). Les gravimètres N° 220 et BN-07 ont subi des interruptions qui ont été comblées par la méthode décrite en {6}. En outre quelques petites interruptions (moins de 3 heures) ont été comblées par interpolation graphique. La quantité d'ordonnées rétablies ne dépasse pas 0,5 %. C'est pourquoi, dans l'analyse harmonique, on a utilisé toutes les données pour ces gravimètres (236 et 161 jours).

Pour le gravimètre N° 201 le nombre de grandes lacunes était assez important et on n'a utilisé que 128 jours parmi les 151 disponibles.

Les observations des gravimètres N° 220 et BN-07 représentent un enregistrement continu, outre l'analyse par la méthode Venedikov {7} (sans utiliser les ordonnées rétablies) on les a soumises à l'analyse harmonique glissante d'après la méthode de Pertsev {8}. Pour les données du gravimètre N° 201 on n'a utilisé que la méthode de Venedikov.

On a obtenu pour le gravimètre N° 220, 208 analyses mensuelles avec déplacement des époques centrales d'un jour du 9.VI.1976 au 3.I.1977 et avec les données du gravimètre BN-07 on a réalisé 128 analyses mensuelles du 29.V. au 4.X.1976. Les graphiques des valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  ainsi obtenues pour les quatre ondes principales de marées ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  et  $O_1$ ) sont donnés sur les figures 3 et 4.

On constate que les variations des valeurs  $\delta$  et  $\Delta\phi$  à l'analyse glissante ont un caractère périodique, ce qui a déjà été remarqué précédemment {10, 11}. Les valeurs moyennes  $\delta$  et  $\Delta\phi$  obtenues par analyse harmonique glissante sont indiquées par des lignes horizontales pointillées sur les fig. 2, 3, 4 et reprises dans la table 2. Les erreurs quadratiques moyennes sont obtenues à partir des séries mensuelles indépendantes ne se recouvrant pas.

Toutes les données ont été soumises à l'analyse par la première méthode de Venedikov {7}. En outre les données du gravimètre N° 201 ont été réduites par S. Simon également par la première méthode de Venedikov mais d'après un autre programme (II) (voir table 2).

Comme le montre la table 2 les valeurs de  $\delta$  et  $\Delta\phi$  obtenues par les méthodes Venedikov et Pertsev concordent bien. C'est pourquoi on en a pris ultérieurement les moyennes. Pour le gravimètre N° 201 la moyenne a été faite d'après les deux méthodes de Venedikov.

Après avoir ajouté les corrections des marées océaniques {14} pour Poulkovo :

	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
$\Delta\delta$	-0,0238	-0,0078	0,0015	0,0046
$\Delta(\Delta\phi)^\circ$	-0,45	0,89	-0,06	-0,14

et à  $\delta(K_1)$  la correction due à la résonance avec la nutation diurne {15} (0,0220) nous obtenons les valeurs finales pour les quatre ondes :

	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
$\delta$	1,1572	1,1669	1,1657	1,1636
	$\pm 24$	$\pm 38$	$\pm 24$	$\pm 22$
$\Delta\phi^\circ$	-1,07	1,07	-1,26	-0,84
	$\pm 0,25$	$\pm 0,76$	$\pm 0,22$	$\pm 0,24$

Il y a également intérêt à calculer la moyenne pondérée avec des poids  $P = A_i^T/m_i^2$  où  $A_i^t$  sont les amplitudes théoriques des ondes de marées à Poulkovo soit, en  $\mu\text{gals}$  : pour l'onde  $M_2$  19,50;  $S_2$  9,08;  $K_1$  38,30;  $O_1$  27,23. La valeur moyenne ainsi pondérée est  $\delta (M_2, S_2, K_1, O_1) = 1,1633 \pm 0,0019$  et si l'on ne tient pas compte de la correction de résonance :  $\delta (M_2, S_2, O_1) = 1,1616 \pm 0,0022$ .

Pour la différence des phases les moyennes pondérées donnent pour les ondes diurnes  $\Delta\phi (K_1, O_1) = -1;04 \pm 0;23$  et pour les ondes semidiurnes  $\Delta\phi (M_2, S_2) = -0;73 \pm 0;24$ .

Les auteurs expriment leurs remerciements au directeur de la station sismique de Poulkovo, A.P. Lazareva, pour l'aide dans l'organisation des observations et également à Ya. Broj, Ya. Schimeka, V.P. Varganova et M.S. Potapova pour leur aide dans les observations et dans la réduction des données.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. Волков В.А., Варга П., Барсенков С.Н. и др. Регистрация приливных вариаций силы тяжести в Тихани (Венгрия). - Наст. сборник, с. 162-171.
2. Dittfeld H.J., Simon Z., Varga P. et al. Earth tide observations by Askania gravimeters at the geodetical observatory Pecny (Czechoslovakia). Budapest: Hung. Geophys. Inst. "Roland Eötvös", 1976. 89 p.
3. Волков В.А., Варга П., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. Советско-венгерские измерения земных приливов в Обнинске. - Наст. сборник, с. 125-136.
4. Волков В.А., Мишаткин В.Н. Опыт стабилизации напряжения на термостатах гравиметров GS-11 во время приливных наблюдений. - В кн.: Комплексные геофизические исследования в Обнинске. Обнинск, 1970, с. 169-173.
5. Волков В.А., Мишаткин В.Н. Опыт стабилизации напряжения на лампочке фотоэлемента гравиметров GS-11 во время приливных наблюдений.

LES OBSERVATIONS DES INCLINAISONS DE MAREES A OBNINSK  
PAR LES CLINOMETRES A QUARTZ

D.G. Gridniev, S.N. Barsenkov, F.P. Gousseva

Etude des marées terrestres, Naouka Moscou, pp. 178-181, 1980.

*Abrégé*

En 1974-1975 on a poursuivi, à Obninsk, les recherches sur les clinomètres en quartz à suspension Zöllner avec système d'enregistrement photoélectrique. On y a effectué les observations dans une galerie située à la profondeur de 30 m avec trois clinomètres qui ont enregistré dans l'azimut E.W. avec un enregistreur CKR {2} installé à 200 m dans un local souterrain. On a branché dans le circuit des photoéléments du clinomètre un galvanomètre à miroir du type M17/9 ayant une sensibilité en courant de  $10^{-10}$  A/mm.m.

Le contrôle de la sensibilité a été réalisé par inclinaison du cadre de suspension du système sensible d'un angle connu au moyen d'un ressort en quartz dont une extrémité est attachée au cadre de suspension et l'autre à l'équipement micrométrique de calcul {3}.

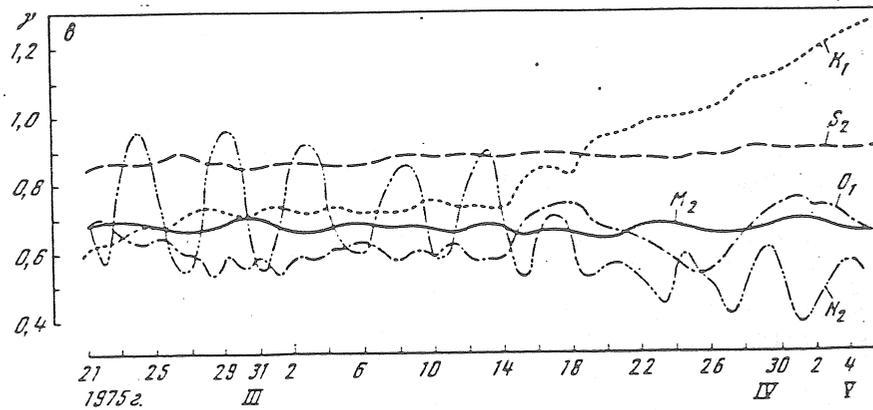
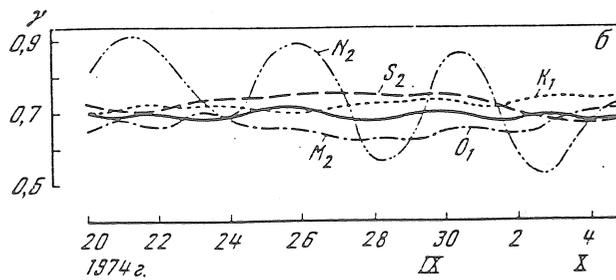
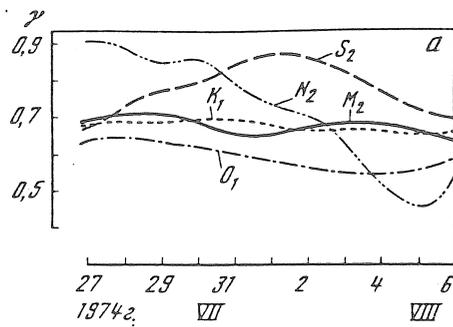
Les recherches antérieures ont établi une dépendance des indications des clinomètres à quartz, rendus hermétiques, vis à vis des variations de la pression atmosphérique {4} c'est pourquoi tous les clinomètres ont été rendus plus hermétiques.

Les périodes propres des pendules étaient 12 s pour HK-I N° 1, 10 s pour HK-I N° 2 et 11 s pour HK N° 1. La vérification pendant les observations a montré leur invariabilité.

Les résultats des observations ont été soumis à l'analyse harmonique par le procédé de Pertsev {5} en méthode glissante avec un déplacement du jour central d'un jour {6}. On a obtenu les valeurs de  $\gamma$  et  $\kappa$  pour chacune des cinq ondes de marées principales  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ .

Valeurs de  $\gamma$ .

Clinomètres : a - HK-I N° 1; b - HK N° 1; c - HK-I N° 2.

Valeurs de  $\gamma$  et  $\kappa$ .

Clinomètre	Période des observations	$\gamma$					$\kappa^\circ$				
		$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_1$	$O_1$	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_1$	$O_1$
HK N° 1	28.I-1.V 1973 r.	0,669	0,780	0,665	0,883	0,653	-1,2	+1,1	-1,0	-35,1	-9,6
HK-I N° 1	12.VII-21.VIII 1974 r.	0,678	0,776	0,717	0,675	0,589	-3,5	-7,2	+6,1	-0,4	+4,0
HK N° 1	5.IX-20.X 1974 r.	0,689	0,716	0,745	0,715	0,662	-2,2	-10,8	+13,1	+1,0	+3,4
HK-I N° 2	6.III-20.V 1975 r.	0,663	0,868	0,639	0,847	0,625	+1,3	+1,9	+6,2	+19,5	-3,1
	Среднее	0,675	0,788	0,692	0,780	0,632	-1,4	-3,8	+6,1	-3,8	-1,3
		$\pm 0,006$	$\pm 0,031$	$\pm 0,024$	$\pm 0,042$	$\pm 0,016$					

Les valeurs de  $\gamma$  obtenues par les observations avec les clinomètres HK-I N° 1 et HK N° 1 en 1974 sont tout à fait satisfaisantes. Les observations avec le clinomètre HK-I N° 2 ont été faites dans la période où, dans la galerie, on a commencé des travaux de construction ce qui a provoqué une certaine augmentation des valeurs de  $\gamma$  des ondes  $S_2$  et  $K_1$ . L'intensité des travaux s'est développée avec la seconde moitié d'avril. La perturbation du régime de température dans la galerie est surtout apparue sur l'onde  $K_1$ . Les valeurs de  $\gamma$  de l'onde  $K_1$  depuis le 15.IV ont commencé à croître rapidement. Si la valeur moyenne de  $\gamma$  de l'onde  $K_1$  pour la période du 21.III au 14.IV est égale à 0,704, pour toute la période, elle a augmenté jusqu'à 0,847.

La valeur moyenne de  $\gamma$  pour les cinq ondes principales avec pondération inversément proportionnelle aux erreurs quadratiques moyennes est égale à 0,688. Elle diffère de 0,002 de la valeur moyenne de  $\gamma$  obtenue par les observations en 10 points du territoire d'URSS avec le clinomètre d'Ostrovskii {8}.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. Буланже Ю.Д., Гриднев Д.Г., Давыдов В.И. и др. Кварцевый наклонномер НК-1. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 149-157.
2. Гриднев Д.Г., Осинская С.В., Певзнер Б.Н. Стационарный кварцевый гравиметр. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 113-122.
3. А.С. 433341 (СССР). Способ эталонирования наклонномеров/Д.Г. Гриднев, Ю.Д. Буланже. Оpubл. в Б.И., 1974, № 23.
4. Гриднев Д.Г., Гусева Ф.П. О влиянии атмосферного давления на показания кварцевых наклонномеров. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 163-166.
5. Перцев Б.П. Гармонический анализ упругих приливов. - Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 8, с. 946-958.
6. Барсенков С.Н., Волков В.А., Гриднев Д.Г. и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скользящим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. - В кн.: Земные приливы и внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1967, с. 62-110.
7. Гриднев Д.Г., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. Наблюдения приливных наклонов в Обнинске макетом кварцевого наклонмера. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 70-76.
8. Островский А.Е. Результаты наблюдений приливных наклонов земной поверхности на территории СССР за 1957-1972 гг. - В кн.: Приливные деформации Земли. М.: Наука, 1975, с. 77-81.

## OBSERVATIONS DES INCLINAISONS DE MAREES DANS DES PUITIS

I.A. Chirokov, K.M. Anokhina

Etude des Marées Terrestres, Naouka-Moscou, pp. 188-192, 1980.

L'étude clinométrique des déformations de l'écorce terrestre entre dans une période de rénovation instrumentale : on remplace les clinomètres encombrants et relativement élémentaires à amplification mécanique par des appareils à amplification électronique avec étalonnage automatique, enregistrement digital et commande à distance; on remplace des observations dans des stations arbitrairement réparties par un système plus rigoureux et efficace d'observations suivant des profils caractérisées par un procédé standard d'installation {1}.

La précision des mesures dépend dans une grande mesure du niveau de bruit inhérent au procédé d'installation des clinomètres dans des galeries de mines, ou des puits. En outre, le niveau de bruit en différentes stations de marées n'est pas le même et peut varier sensiblement au cours d'un an. A présent les ondes de marées principales se déterminent dans les autres stations avec une erreur d'environ 1 % {2}.

Dans l'interprétation les plus grandes difficultés proviennent de la représentation insatisfaisante des résultats individuels pour lesquels on désire obtenir, en des points voisins, des valeurs  $\gamma$  et  $\kappa$  coïncidant dans les limites de précision. Les marées terrestres, phénomène global englobant les régions les plus profondes de la Terre, doivent être caractérisées par des paramètres observés dans de vastes parties de la surface et en tout cas en des points voisins de 20 à 30 mètres, l'influence perturbatrice de la situation tectonique locale en des points rapprochés étant supposée être la même.

Nous avons cependant beaucoup d'exemples où les paramètres en des points voisins diffèrent de plus que le prévoit leur précision interne. Cet aspect non satisfaisant des résultats est déterminé, d'après nous, par l'absence d'un procédé standard d'installation des clinomètres. A ce point de vue il y a intérêt à considérer les résultats des observations dans des puits voisins près de Moscou qui ont commencé dès 1972 à la station de Polouckkino utilisant un

clinomètre pour puits "Askania" et, depuis 1974, avec des clinomètres modifiés d'Ostrovskii {3}. On n'avait pas jusqu'ici réussi à faire des observations dans les puits avec des pendules horizontaux à cause du type de construction de l'appareil. Pour résoudre ce problème on a élaboré une méthode d'orientation azimuthale et de fixation de l'appareil dans les puits.

A la station de Polouckkino il y a trois puits identiques d'une profondeur de 30 mètres, distants de 10 à 15 m l'un de l'autre. Les observations ont été faites avec trois clinomètres d'Ostrovskii (N° 4, 51, 78) équipés pour les puits.

Malgré la courte durée des observations simultanées, nous avons pu déterminer des valeurs représentatives des paramètres de marées et comparer les procédés d'installation des clinomètres dans les puits et dans les mines.

La Table 1 donne les valeurs du facteur d'amplitude  $\gamma$  et du retard de phase  $\kappa$  avec une estimation de précision pour les quatre ondes  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ . Pour obtenir des valeurs représentatives de  $\gamma$  et  $\kappa$  on a calculé les moyennes pondérées (poids inversement proportionnels aux carrés des erreurs quadratiques moyennes) pour le groupe de puits.

L'écart maximum à la valeur moyenne pondérée  $\gamma (M_2)$  atteint seulement 0,8 % dans le puits 1. L'erreur quadratique moyenne relativement grande du résultat s'explique par la courte durée des observations. Pour le puits 2 le résultat a été obtenu avec une erreur plus petite, la durée des observations y étant presque 3 fois plus longue que dans le puits 1. Dans les puits 1 et 2 les pendules horizontaux d'Ostrovskii ont été installés à peu près aux mêmes profondeurs. Le facteur d'amplitude est déterminé avec la plus petite erreur par le clinomètre installé dans la partie moyenne du puits 3 où la valeur  $\gamma (M_2)$  était de 0,726, ce qui diffère de la moyenne pondérée de 0,15 %.

Pour l'onde  $S_2$ , l'écart maximum à la moyenne pondérée dans le puits 2 atteint 2 %. Les écarts correspondants pour les puits 1 et 3 étaient respectivement de 0,3 et 1,0 %.

Les ondes diurnes sont déterminées avec une précision moindre que les semidiurnes en raison du niveau de bruit plus élevé à ces fréquences. Les perturbations principales à Polouckkino sont dues à des inclinaisons locales périodiques de température et à des effets de charge barométriques {4}.

La moyenne pondérée de  $\gamma (K_1)$  était 0,687 pour le groupe de puits. L'écart maximal atteint 1,5 % dans le puits 1, et dans les puits 2 et 3 les valeurs de  $\gamma (K_1)$  ne diffèrent pas l'une de l'autre et de la moyenne pondérée de plus de 0,5 %.



Pour l'onde lunaire  $O_1$  la moyenne pondérée de  $\gamma(O_1)$  est 0,751 et l'écart pour les puits individuels ne dépasse pas 1 %.

Ainsi, dans trois puits voisins les facteurs d'amplitude sont concordants à 1 à 2 % pour chacune des ondes examinées ce qui témoigne de la représentativité des résultats pour la région étudiée.

La différence stable observée entre les  $\gamma$  pour les différentes ondes s'explique par une même influence perturbatrice du bruit périodique dans tous les puits.

Le retard de phase est relativement bien déterminé pour l'onde  $M_2$ . La plus grande valeur de  $\kappa(M_2)$  est obtenue dans le puits 1. Cela s'explique apparemment par l'orientation moins précise du clinomètre, qui a été déterminée à la boussole.

Si on élimine le résultat du puits 1, le retard de phase de l'onde  $M_2$  est de  $-0^{\circ}9 \pm 0,7$ .

Faisons la comparaison des paramètres de marées obtenus d'après les observations dans le groupe des puits et dans le groupe des galeries voisines de Moscou {2}. La distance entre les galeries était de 15 à 20 m, leur profondeur de 10 à 12 m.

La table 2 montre que les valeurs de  $\gamma(M_2)$  concordent mieux pour les puits que pour les galeries. L'écart de la valeur moyenne de  $\gamma(M_2)$  pour les puits n'est que de 0,5 % mais pour les galeries, la plus petite erreur était égale à 1,5 % (station de S. ...). Le retard de phase  $\kappa(M_2)$  est également sensiblement plus petit dans les puits que dans les galeries. Les observations dans les puits sont donc plus représentatives que les observations dans les galeries.

#### BIBLIOGRAPHIE.

1. Smitz-Hübsch H. Oberbayerische Testnetzzeiten der Abteilung I des Deutschen Geodätischen Forschung Institut. — 3. Internationalen Symposium "Geodesie und Physik der Erde", 1973, S. 18-24.
2. Островский А.Е., Матвеев П.С. Приливности по наблюдениям в СССР. — В кн.: Изучение Земли. М.: Наука, 1973, с. 60-71.
3. Широков И.А., Анохина К.М. Локальные наклоны земной поверхности. — В кн.: Вращение и приливы. Научная думка, 1975, вып. 7, с. 32-38.
4. Широков И.А., Анохина К.М. Методика наблюдений в скважинах. — В кн.: Современная деформация земной коры. Новосибирск, 1976, с. 98-114.

## EARTH TIDES DESCRIBED BY CURVATURE THEORY

Martin Ekman

National Land Survey  
Division of Geodetic Research  
S - 801 12 Gävle, Sweden

Abstract

A differential geometric description is given of the semi-diurnal and diurnal earth tides. The tidal deformations, for various astronomical positions of the Moon and the Sun, are characterized using the concepts of elliptic, planar, cylindric and hyperbolic curvature: There are always areas on the surface of the Earth with elliptic tidal deformations and with no or very small deformations. If the declination of the Moon is large (positive or negative), also cylindric tidal deformations occur. When the Moon is approximately new or full, hyperbolic as well as cylindric tidal deformations are added to the planar and elliptic ones.

## 1. Introduction

From differential geometry we know that the shape of a curved surface can be examined with the Gaussian curvature and the mean curvature. Those quantities inform us whether the surface at some point is curved elliptically (like a bubble), hyperbolically (like a saddle), cylindrically, or not at all.

These four ways of curving a surface will now be investigated with respect to the tidal deformations of the Earth. We will deal with the curvature variations due to the semi-diurnal and diurnal earth tides (the long period ones being left out because of their slow variation). Four different cases regarding the astronomical positions of the Moon and the Sun will be treated.

## 2. Tidal curvatures

The vertical displacement due to the combined semi-diurnal and diurnal earth tide is (Melchior, 1978)

$$u = h_2 \frac{3GMR^2}{4r^3\gamma} \left[ \cos^2\delta \cos^2\varphi \cos 2t + \sin 2\delta \sin 2\varphi \cos t \right] \quad (1)$$

(For explanations of the symbols see the list of symbols at the end of the paper.) From (1), well-known expressions of e.g. the tidal tilt can be derived. In a similar way one can introduce the concept of tidal curvature, Gaussian as well as mean curvature (these being related to the tidal strain tensor components). Formulae for the tidal curvatures have been derived, starting from (1), by Ekman (1985):

The Gaussian tidal curvature is given by

$$\begin{aligned}
 K = & \sum_{i=\alpha}^{\circ} \sum_{j=\alpha}^{\circ} h_2^2 \left( \frac{3GM_i}{2\gamma r_i} \right) \left( \frac{3GM_j}{2\gamma r_j} \right) \left[ \cos^2 \delta_i \cos^2 \delta_j \right. \\
 & \left( \cos 2\varphi (1 + \cos^2 \varphi) \cos 2t_i \cos 2t_j \right. \\
 & \left. - \sin^2 \varphi \sin 2t_i \sin 2t_j \right) + \cos^2 \delta_i \sin 2\delta_j \\
 & \sin 2\varphi \left( (1 + 4 \cos^2 \varphi) \cos 2t_i \cos t_j \right. \\
 & \left. + \sin 2t_i \sin t_j \right) \\
 & \left. + \sin 2\delta_i \sin 2\delta_j \left( 2 \sin^2 2\varphi \cos t_i \cos t_j \right. \right. \\
 & \left. \left. - \cos^2 \varphi \sin t_i \sin t_j \right) \right] \quad (2)
 \end{aligned}$$

and the mean tidal curvature by

$$\begin{aligned}
 H = & - \sum_{i=\alpha}^{\circ} h_2 \frac{9GM_i}{4\gamma r_i} \left[ \cos^2 \delta_i \cos^2 \varphi \cos 2t_i \right. \\
 & \left. + \sin 2\delta_i \sin 2\varphi \cos t_i \right] = - \frac{3}{R^2} u \quad (3)
 \end{aligned}$$

Now, the character of the tidal deformation at some point on the Earth's surface can be obtained from (2) and (3). As for any deformed surface, this character is found out in the following simple way (see e.g. Lipschutz, 1969):

$$\begin{aligned}
 K > 0: & \quad \text{Elliptic curvature} \\
 K < 0: & \quad \text{Hyperbolic curvature} \\
 K \approx 0, H \neq 0: & \quad \text{Cylindric curvature} \\
 K \approx 0, H \approx 0: & \quad \text{Planar situation}
 \end{aligned} \quad (4)$$

### 3. The four luni-solar cases

Applying (2), (3) and (4) we have determined, for points at different latitudes, the characters of the tidal deformation during the course of 24 hours. This has been carried out for the following four cases regarding the astronomical positions of the Moon and the Sun:

Case I:  $\delta_{\zeta} \approx 0^{\circ}$ ,  $\delta_{\odot} \approx \pm 23^{\circ}$ . Half moon at the times of the solstices (summer or winter). Lunar tide only semi-diurnal, solar tide with maximum diurnal component.

Case II:  $\delta_{\zeta} \approx \pm 28^{\circ}$ ,  $\delta_{\odot} \approx 0^{\circ}$ . Half moon at the times of the equinoxes (vernal or autumnal). Lunar tide with maximum diurnal component, solar tide only semi-diurnal.

Case III:  $\delta_{\zeta} \approx 0^{\circ}$ ,  $\delta_{\odot} \approx 0^{\circ}$ . New or full moon at the equinoxes. Only semi-diurnal tides.

Case IV:  $\delta_{\zeta} \approx \pm 28^{\circ}$ ,  $\delta_{\odot} \approx \pm 23^{\circ}$ . New or full moon at the solstices. Tides with maximum diurnal components.

The dates selected to represent these four cases were 1987-06-18/19 for case I, 1987-03-22/23 for case II, 1987-09-22/23 for case III, and 1987-12-20/21 for case IV. (We may note that during this year the Moon reaches its extreme declinations.) The computations were performed for every hour, and for every  $15^{\circ}$  of latitude.

#### 4. Results

The results are presented as figures - one for each of the four luni-solar cases - showing latitude zones with their characteristic curvatures. Before going into these, however, we should say something about the numerical values of K and H.

With the Love number  $h_2 = 0.62$  the Gaussian tidal curvature has the maximum values

$$\begin{aligned} K_+ &= 5.3 \cdot 10^{-34} \text{ mm}^{-2} && (\text{case IV, } \varphi = 30^\circ) \\ K_- &= -1.4 \cdot 10^{-34} \text{ mm}^{-2} && (\text{case III, } \varphi = 90^\circ) \end{aligned}$$

For the mean tidal curvature the maximum values are

$$\begin{aligned} H_+ &= 1.8 \cdot 10^{-17} \text{ mm}^{-1} && (\text{case III, } \varphi = 0^\circ) \\ H_- &= -2.3 \cdot 10^{-17} \text{ mm}^{-1} && (\text{case IV, } \varphi = 30^\circ) \end{aligned}$$

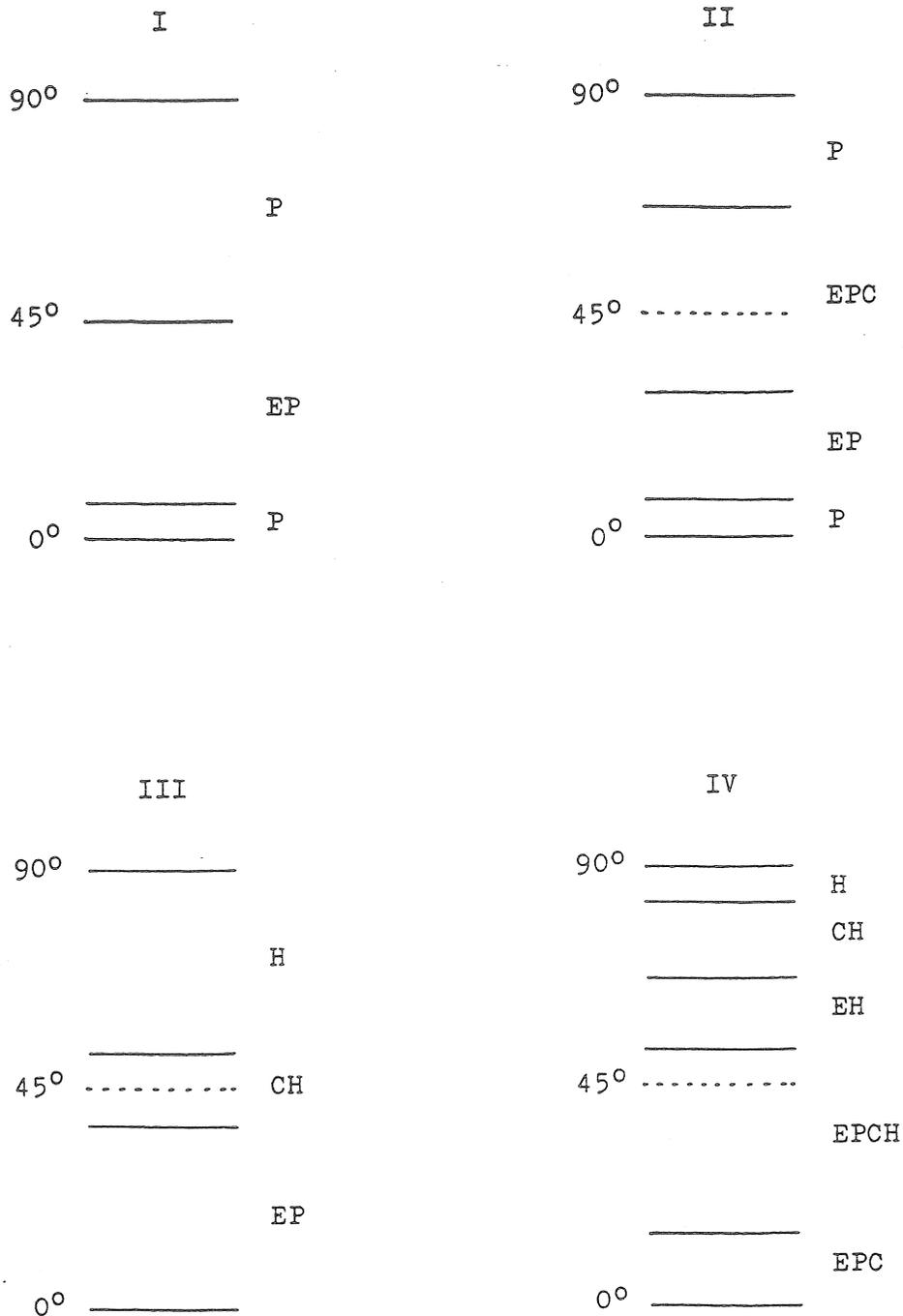
In the following it is considered that  $K \approx 0$  or  $H \approx 0$  when their absolute values do not exceed about 0.5 in their respective units used above.

Let us now study the figures of the four cases.

Case I: The planar situation, i.e. no or very little curvature, is dominating. In a wide latitude zone around  $30^\circ$ , however, an elliptic-planar curvature variation is taking place.

Case II: The zones of case I are still there but have narrowed. Instead we have a wide zone around  $45^\circ$  with an elliptic-planar-cylindric curvature variation.

Case III: In a wide equatorial zone an elliptic-planar curvature variation is found. A rather narrow zone around  $45^\circ$  now shows a cylindric-hyperbolic curvature variation. Constantly hyperbolic curvature characterizes a large polar area.



Figures I - IV: Characters of the tidal curvature -

E = elliptic, P = planar, C = cylindric, H = hyperbolic -  
 in latitude zones for four cases. I:  $\delta_{\zeta} \approx 0^{\circ}$ ,  $\delta_{\circ} \approx \pm 23^{\circ}$ ;  
 II:  $\delta_{\zeta} \approx \pm 28^{\circ}$ ,  $\delta_{\circ} \approx 0^{\circ}$ ; III:  $\delta_{\zeta} \approx 0^{\circ}$ ,  $\delta_{\circ} \approx 0^{\circ}$ ;  
 IV:  $\delta_{\zeta} \approx \pm 28^{\circ}$ ,  $\delta_{\circ} \approx \pm 23^{\circ}$ .

Case IV: Here we find a rich variety of tidal deformations. The equatorial zone has an elliptic-planar-cylindric curvature variation. In a wide zone around  $30^{\circ}$  a complete elliptic-planar-cylindric-hyperbolic curvature variation is taking place (cf. Ekman, 1985). North of that there are two narrower zones around  $60^{\circ}$  and  $75^{\circ}$ , one characterized by an elliptic-hyperbolic and the other by a cylindric-hyperbolic curvature variation. Constantly hyperbolic curvature prevails in a small polar area.

In general terms we may state: There are always areas on the surface of the Earth with elliptic tidal deformations and with no or very small deformations. If the declination of the Moon is large (positive or negative), also cylindric tidal deformations occur. When the Moon is approximately new or full, hyperbolic as well as cylindric tidal deformations are added to the planar and elliptic ones.

The author considers that the description of earth tides given here - using the concepts of elliptic, planar, cylindric and hyperbolic tides - gives a new possibility to visualize how the Earth's surface is deformed under the influence of tidal forces.

List of symbols

- G = gravitational constant  
H = mean tidal curvature  
 $h_2$  = Love's number  
K = Gaussian tidal curvature  
M = mass of Moon or Sun  
R = radius of the Earth  
r = geocentric distance to Moon or Sun  
t = hour angle of Moon or Sun  
u = vertical tidal displacement  
 $\gamma$  = gravity  
 $\delta$  = declination of Moon or Sun  
 $\varphi$  = latitude

References

- Ekman M: Gaussian and Mean Curvatures of Earth Tides and Postglacial Land Uplift, and Their Effects on Earthquakes. Doctoral dissertation, Uppsala 1985.
- Lipschutz M: Theory and Problems of Differential Geometry. Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Co. 1969.
- Melchior P: The Tides of the Planet Earth. Pergamon Press 1978.

A NEW COMPLETE DEVELOPMENT OF THE  
TIDE-GENERATING POTENTIAL FOR THE EPOCH J2000.0

Xi Qinwen

Center for Analysis and Prediction  
State Seismological Bureau  
Beijing, P.R. China

At the last meeting held in Madrid I presented a paper on the development of the tide-generating potential. That development basically is an algebraic deduction for the formulas of the tidal-generating potential by Doodson's original method with a computer. The original tables ( $\theta$ -s,  $\lambda$ ,  $\frac{C}{R}$ ) used in Doodson's paper were not changed except the table of the longitude of the moon, in which one numerical coefficient was corrected because of an error. The coefficient 0.46040 for the sun was replaced by 0.459227. For this reason that development still belongs to the system J1900. The origin of time is the epoch J1900.0. At the end of the paper mentioned above we declared that the new complete development for the tide-generating potential will be obtain in the nearest future. Now I will report the new results.

As we know, according to the resolution of IUGG, the following system of astronomical and geophysical constants was taken for the 1984 edition of the Astronomical Almanac.

Equatorial radius for the earth	6378140 m
Flattening factor for the earth	1/298.257
Geocentric gravitational constant	GE = 3.986005 x 10 cm/s
Sine parallax of the moon	$\sin \pi = \frac{a}{c} = 0.01659251$ (3422"451)
Ratio of mass of the moon to that of the earth	M/E = 0.01230002
Solar parallax	8"794148
Ratio of mass of the sun to that of the earth	S/E = 332946.0

The original data used by Doodson as he worked out the development were taken from Brown and Newcomb; the value of the obliquity of the ecliptic is the value at January 1. 1900. i.e.  $\epsilon = 23^{\circ}27'08''.26$ . At present, Brown's

coefficients have already been recalculated, the obliquity of the ecliptic has relative changes of  $5 \times 10^{-4}$  per century and  $25 \times 10^{-4}$  per century in the eccentricity of the earth orbit. The secular trends due to these effects are discernable in the tidal amplitudes. This is called the time dependency of tidal amplitudes. In order to solve the problem, we have rededuced a new complete development belonging to the system of the epoch J2000.0.

In the process, the table of Eckert, Jones and Clark (referenced as EJC) and the sine parallax of the moon mentioned above have been used for the position of the moon; for the sun, the ecliptic longitude and distance are expended as follows :

$$\lambda_s = h + (2e - \frac{1}{4} e^3) \sin (h - p_s) + \frac{5}{4} e^2 \sin 2 (h - p_s) + \frac{13}{12} e^3 \sin 3 (h - p_s) + \dots \quad (1)$$

$$\left(\frac{C}{R}\right)_s = 1 + (e - \frac{1}{8} e^3) \cos (h - p_s) + e^2 \cos 2 (h - p_s) + \frac{9}{8} e^3 \cos 3 (h - p_s) + \dots$$

where  $h$  is mean ecliptic longitude of the sun;  $p$  is that of the solar perigee. The value of the eccentricity of the earth orbit  $e$  used in (1) is the value corresponding to the epoch J2000.0, i.e. 0.016709113. If we take it into (1), we have :

$$\lambda_s = h + 0.033417 \sin (h - p_s) + 0.000349 \sin 2 (h - p_s) + 0.000005 \sin 3 (h - p_s) + \dots \quad (2)$$

$$\left(\frac{C}{R}\right)_s = 1 + 0.016709 \cos (h - p_s) + 0.000279 \cos 2 (h - p_s) + 0.000005 \cos 3 (h - p_s) + \dots$$

The new complete development consists of 1178 harmonic terms (the original had 1142 terms). We have calculated Legendre polynomials of degree 4. So except the low frequency tides, diurnal tides, semi-diurnal tides and ter-diurnal tides, there are 7 terms of the quadri-diurnal tides. The new complete development has been copied into a floating diskette and is available for anyone.

The table 1 compares the new complete development with others. We

can see the differences and the order of the time dependence for the principal tidal amplitudes.

Table 1. Comparison between the different tidal developments

Wave Epoch	Doodson 1900	CET 1900	CTE 1960	XI 1900	XI 2000	Argument
M <sub>0</sub> S <sub>0</sub>	73869	73806	73819	73803	73832	055.555
18 year	6552	6556	6555	6553	6553	055.565
Ssa	7299	7281	7275	7281	7273	057.555
Mm	8254	8254	8256	8254	8258	065.455
Mf	15642	15647	15637	15649	15642	075.555
Mtm	2995	2996	2995	2996	2994	085.455
Q1	7216	7217	7214	7218	7217	135.655
O1	37689	37694	37683	37698	37690	145.555
P1	17584	17543	17537	17539	17531	163.555
K1	53050	53011	52998	53015	53002	165.555
J1	2964	2964	2963	2965	2965	175.455
001	1623	1624	1623	1624	1623	185.555
N2	17387	17386	17388	17386	17389	245.655
M2	90812	90809	90814	90808	90823	255.555
L2	2567	2567	2567	2568	2567	265.455
S2	42358	42248	42251	42249	42254	273.555
K2	11506	11498	11491	11499	11491	275.555
M3	1188	1188	1187	1188	1187	355.555
M4					16	455.555

I hope that the new complete development will be convenient for research of the time dependence and tidal data processing.

Finally, I would like to touch on the problem of the system J2000.0. As a match for the new complete development, I suggest on should consider to adopt tidal constants corresponding to the new astronomical and geophysical constants. In this connection we got

$$G = G(\rho) = \frac{3}{4} fE \frac{M}{E} \left(\frac{a}{C}\right)^3 \frac{1}{a} \left(\frac{\rho}{a}\right)^3 = G(a) \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 = D \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \quad (3)$$

where

$$D = G(a) = \frac{3}{4} fE \frac{M}{E} \left(\frac{a}{C}\right)^3 \frac{1}{a} = 26335.938 \text{ cm}^2/\text{s}^2 \quad (4)$$

and

$$G_s(\rho) = \frac{3}{4} fS \frac{\rho^2}{C_s^3} = \left(\frac{C}{C_s}\right)^3 \frac{S}{M} G(\rho) = \frac{\left(\frac{a}{C_s}\right)^3}{\left(\frac{a}{C}\right)^3} \frac{\frac{S}{E}}{\frac{M}{E}} G(\rho) \\ = 0.45923780G(\rho) \quad (5)$$

The 5 astronomical arguments are

$$\begin{aligned} s &= 281^\circ 31643 + 481267^\circ 88128T - 0^\circ 00161T^2 + 0^\circ 000005T^3 \\ h &= 280^\circ 46607 + 36000^\circ 76980T + 0^\circ 00030T^2 \\ p &= 83^\circ 35345 + 4069^\circ 01388T - 0^\circ 01031T^2 - 0^\circ 00001T^3 \\ N &= 125^\circ 04452 - 1934^\circ 13626T + 0^\circ 00207T^2 + 0^\circ 000002T^3 \\ p' &= 282^\circ 93835 + 1^\circ 71946T + 0^\circ 00046T^2 + 0^\circ 000003T^3 \end{aligned} \quad (6)$$

and the obliquity of the ecliptic

$$\epsilon = 23^\circ 43929 - 0^\circ 01300T - 0^\circ 00000016T^2 + 0^\circ 0000005T^3 \quad (7)$$

Of course the epoch of this T is J2000.0 (i.e. Jan. 0.5. 2000, JD = 2452545.0 TDB).

#### REFERENCES

- {1} Astronomical Almanac for the Year 1984. Washington: U.S. Government Printing Office, London: Her Majesty's Stationery Office.
- {2} Brown, W.E.: Tables of the Motion of the Moon, New Haven: Yale University Press 1919.
- {3} Cartwright, D.E., Tayler, R.S.: New computations of the Tide-generating Potential, Geophysical Journal R. Astr. Soc. Vol. 33, 1971.
- {4} Cartwright, D.E., Edden, A.C.: Corrected Tables of Tidal Harmonics, Geophysical Journal R. Astr. Soc. Vol. 33, 1973.
- {5} Doodson, A.T.: The Harmonic Development of the Tide-Generating Potential. Proc. Roy. Soc. London Ser. a 100, 1922.
- {6} Eckert, W.J. et al.: Improved Lunar Ephemeris 1952-1959, U.S. Government Printing Office Washington 1954.
- {7} Heikkinen, M.: On the Tide-generating Forces, Publication of the Finnish Geodetic Institute N° 85, 1978.
- {8} Meeus, J.: Tables of the Moon and the Sun, Kesselberg Sternwarte, Kesselberg, Belgium 1962.
- {9} Melchior, P.: The Tides of the Planet Earth, Oxford 1983.

