

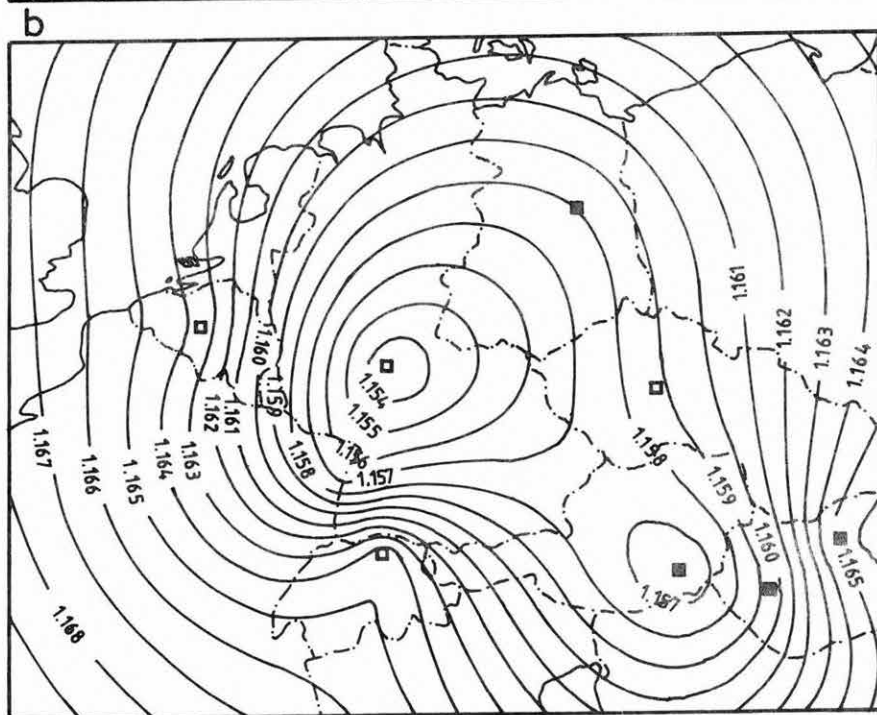
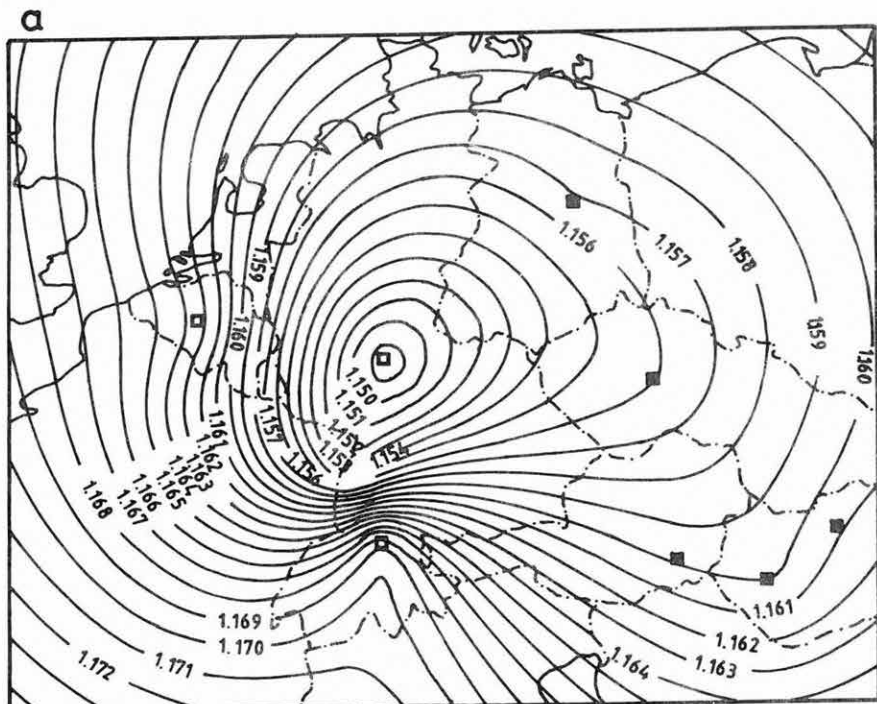
Geodinamikai jelenségek megfigyelése és feldolgoása

Az elmúlt évek során az ELGI regisztráló graviméterével (BN-07) Európa különböző országaiban, illetve Magyarországon összesen 11 állomáson végeztünk gravitációs földárapály megfigyeléseket. Az eredmények a *IV. táblázatban* láthatók. Az óceáni árapály hatással javított amplitúdóhányadosok lehetőséget adnak a geofizikai értelmezésre:

- megállapítható, hogy megfigyelési eredményeink igen jó egyezést mutatnak Molodensky II. modelljével [MOLODESKY, KRAMER 1961] (az amplitúdóhányados értéke nála 1,164) és jelentős mértékben eltérnek Wahr elméleti számítási eredményeitől, aki szerint a statikus rugalmas földárapály 1,152 amplitúdóhányados értékkel jellemezhető [WAHR 1981];
- az amplitúdóhányadosok területi eloszlásának vizsgálatára még nem áll rendelkezésre elegendő megfigyelési anyag. A legmegbízhatóbbnak tekintett megfigyelésekből (Potsdam, Pecný, Tihany, Graz, Budapest) nyert amplitúdóhányadosok területi eloszlása homogén képet mutat, ezek jól megegyeznek a Nyugat-Európában kapott eredményekkel (Strasbourg, Bruxelles, Zürich). Csak a Frankfurtban végzett észlelések amplitúdóhányadosai mutatnak eltérő értéket, ami bizonyos mértékig meglepő, hiszen itt a világ jelenleg legjobbnak tartott műszereivel végeztek méréseket (78. ábra);
- a Föld cseppfolyós magja által keltett rezonancia hatás a megfigyelési eredményeinkből egyértelműen kimutatható. Ezt a 79. ábra hivatott szemléltetni, amelyen az ELGI műszerével nyert eredményeket más szerzők eredményeivel hasonlítottuk össze. Az esetleges műszerkalibrációs hibák hatásának kizárása érdekében a mag-rezonancia görbéje relatív értéként van feltüntetve (a rezonancia által nem befolyásolt O_1 jelű hullám amplitúdóhányadosa szolgál egységként).

A Föld gravitációs árapályát 1982 óta a Mátyás-hegyi barlangban levő állomáson regisztráljuk. Már több mint 3 éves folyamatos megfigyelési sorozat áll

* Varga P.



78. ábra. Gravitációs földárpályá amplitúdóhányadosok területi eloszlása Közép-Európában

a) O_1 hullám;

b) M_2 hullám;

fekete négyzet — ELGI megfigyelése; üres négyzet — más intézmények megfigyelései

Fig. 78. The areal distribution of amplitude factors of gravity Earth tides in Central Europe

a) wave O_1 ;

b) wave M_2 ;

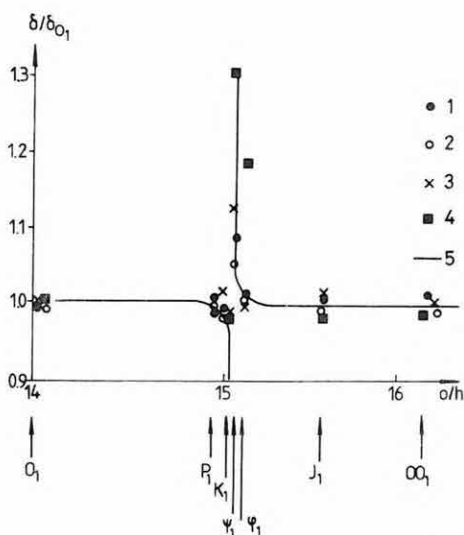
black square — observations by ELGI; empty square — observations by other institutions

Рис. 78. Площадное распределение отношений амплитуд гравитационных земных приливов в Средней Европе

a) волна O_1 ;

b) волна M_2 ;

черный квадрат — наблюдения ЭЛГИ; пустой квадрат — наблюдения других организаций



79. ábra. A Föld cseppfolyós magja által keltett rezonancia hatás

1 — Nemzetközi Földárpályá Központ (ICET) eredményei [MELCHIOR 1980]; 2 — csehszlovák eredmények Pecnýből [SIMON 1979]; 3 — Strasbourgban kapott eredmények [ABOURS-LECOLAZET 1977]; 4 — ELGI eredményei; 5 — elméleti rezonancia görbe Molodensky II. modellje szerint [MOLODENSKY-KRAMER 1961]

Fig. 79. Resonance effect caused by the fluid core of the Earth

1 — results of the International Center of Earth Tides (ICET) [MELCHIOR 1980]; 2 — results of Pecný (Czechoslovakia) [SIMON 1979]; 3 — results of Strasbourg [ABOURS-LECOLAZET 1977]; 4 — results of ELGI; 5 — theoretical resonance curve according to Model II of Molodensky [MOLODENSKY-KRAMER 1961]

Рис. 79. Резонансный эффект, возбужденный жидким ядром Земли

1 — результаты Международного центра по земным приливам (ICET) [MELCHIOR 1980]; 2 — чехословацкие результаты из Печны [SIMON 1979]; 3 — результаты, полученные в г. Страсбург [ABOURS-LECOLAZET 1977]; 4 — результаты ЭЛГИ; 5 — теоретическая кривая резонанса по модели II Молоденского [Молоденский-Крамер 1961 г.]

[1] Állomás	[2] Megfigye- lések időtartama (napokban)	[3] Megfigyelt amplitúdó hányadosok		[4] Óceáni árapály hatástól megszabadított amplitú- dó hányadosok	
		O ₁	M ₂	O ₁	M ₂
Bonn	90	1,158 ± 3	1,197 ± 3	1,165	1,160
Potsdam	405	1,156 ± 3	1,191 ± 1	1,162	1,164
Pecny	114	1,159 ± 10	1,181 ± 2	1,165	1,154
Graz	224	1,156 ± 4	1,182 ± 1	1,162	1,156
Obninsk	233	1,153 ± 6	1,200 ± 2	1,157	1,184
Pulkovo	161	1,149 ± 5	1,187 ± 3	1,154	1,163
Sopron	86	1,169 ± 28	1,192 ± 6	1,175	1,165
Tihany	220	1,155 ± 8	1,187 ± 3	1,161	1,161
Penc	122	1,158 ± 8	1,191 ± 3	1,164	1,167
Budapest	240	1,157 ± 3	1,189 ± 3	1,161	1,166
Pécs	110	1,155 ± 10	1,210 ± 5	1,161	1,184
Átlag [5]	2005	1,157 ± 4	1,191 ± 6	1,162 ± 4	1,165 ± 6

IV. táblázat. Az ELGI regisztráló graviméterével 1974 és 1982 között végzett gravitációs földárapály megfigyelések eredményei

Table IV. Results of gravity Earth tide observation carried out with the recording gravimeter of ELGI in the period of 1974 to 1982

[1] — station; [2] — duration of observations (days); [3] — observed amplitude ratios; [4] — amplitude ratios free of the effect of oceanic tides; [5] — mean

Таблица IV. Результаты наблюдений гравитационных земных приливов, проведенных в период с 1974 по 1982 с регистрирующим гравиметром ЭЛГИ

[1] — станция; [2] — продолжительность наблюдений (сутки); [3] — наблюдаемые отношения амплитуд; [4] — отношения амплитуд, освобожденные от влияния океанических приливов; [5] — средняя

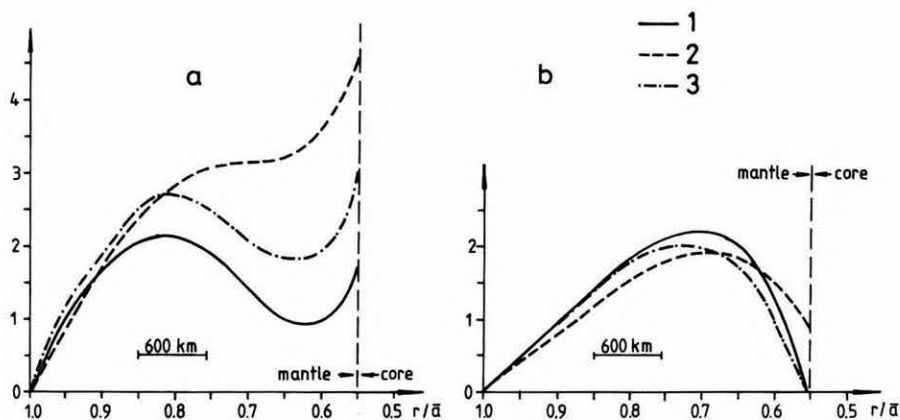
rendelkezésünkre. Körülbelül hasonló hosszúságú az extenzométeres megfigyelési adatsorunk is.

Külső erőhatások okozta rugalmas feszültségek a Föld belsejében

A külső erőhatások két típusát vizsgáltuk:

- a luniszoláris hatás keltette feszültségek;
- normális terhelések okozta feszültségek.

A 80. ábrán az árapály által keltett és tangenciális feszültségek függvényei láthatók. Ahhoz, hogy jellemezni lehessen a földszerkezet hatását a luniszoláris eredetű feszültségek sugár menti eloszlására, a Gutenberg–Bullen modell esetében kapott eredményeket két extrémális (és természetesen irreális) földmodellel együtt mutatjuk be. Megállapítható, hogy a felső köpenyben a normális és tangenciális feszültségek eloszlása gyakorlatilag független a Föld szerkezetétől. Értékük a felszínen igen kicsi ($\leq 10^2$ N/m²), míg 500–600 km mélységben 10^3 N/m². $10^\circ \times 10^\circ$ és $1^\circ \times 1^\circ$ szegmensen ható 100 N/m² felszíni terhelés ese-



80. ábra. Földárapály okozta normális (a) és tangenciális (b) feszültségek a köpenyben [10^3 N/m²]

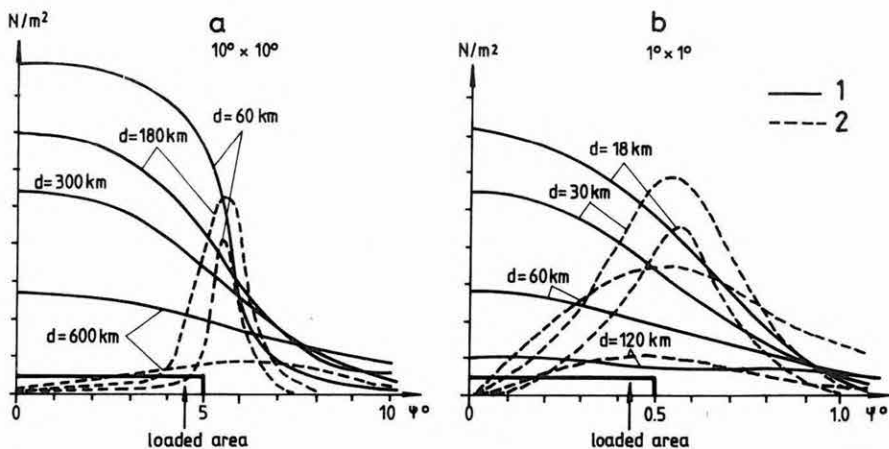
1 — Gutenberg–Bullen modell; 2 — a köpenyben a sűrűség csak a hidrosztatikus nyomás következtében nő; 3 — a köpenyben a sűrűség állandó ($4,2$ g/cm³), a mag sűrűsége $12,1$ g/cm³

Fig. 80. Normal (a) and tangential (b) stresses in the mantle due to Earth tides [10^3 N/m²]

1 — Gutenberg–Bullen model; 2 — density in the mantle rises in consequence of hydrostatic pressure only; 3 — density in the mantle is constant ($4,2$ g/cm³), density of the core is $12,1$ g/cm³

Рис. 80. Вызванные земными приливами нормальные и тангенциальные напряжения в верхней мантии [10^3 Н/м²]

1 — модель Гутенберга–Баллена; 2 — в мантии плотность возрастает только вследствие гидростатического давления; 3 — в мантии плотность является постоянной ($4,2$ г/см³); плотность ядра равна $12,1$ г/см³



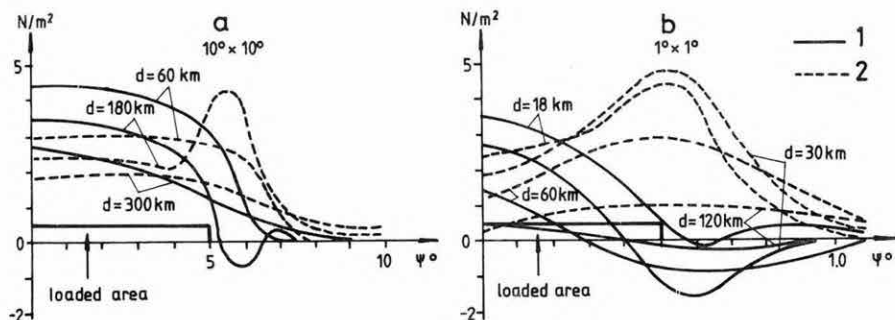
81. ábra. Normális (1) és tangenciális (2) feszültségek a Földben, különböző d mélységekben $10^\circ \times 10^\circ$ (a), illetve $1^\circ \times 1^\circ$ (b) szférikus szegmenseken ható 10 N/m^2 felszíni terhelés esetén

Fig. 81. Normal (1) and tangential (2) stresses at various d depths in the Earth for a superficial load of 10 N/m^2 exerting its effect over spherical segments of $10^\circ \times 10^\circ$ (a) and $1^\circ \times 1^\circ$ (b), respectively

Рис. 81. Нормальные (1) и тангенциальные (2) напряжения в Земле на разных глубинах d при поверхностной нагрузке 10 Н/м^2 , производящей влияние по сферическим сегментам $10^\circ \times 10^\circ$ (a) и $1^\circ \times 1^\circ$ (b) соответственно

tére határoztuk meg a normális és tangenciális feszültségek eloszlását a Föld sugara mentén (81. ábra). Ezen eloszlások alapján adódik a hidrosztatikus és a maximális nyírási feszültség (82. ábra).

A 80–82. ábrán bemutatott eredmények felhasználhatók annak vizsgálatára, hogy milyen mértékben hathatnak a külső erőhatások a földrengések időbeli eloszlására. Tekintettel arra, hogy ilyen természetű kapcsolat csak sekélyfészkkű rengések esetében jöhet szóba, igen kicsi annak valószínűsége, hogy a földárapály befolyásolja a földrengések kipattanását. Tekintettel arra, hogy a földrengések elsősorban nyírófeszültségekkel hozhatók kapcsolatba, azok kipattanása szempontjából elsősorban a maximális nyírási feszültség játszhat szerepet. Így valószínűsíthető, hogy az óceáni árapály a partvidékeken, ahol az általa keltett feszültség 10^4 – 10^5 N/m^2 nagyságrendű, hatással van a rengések időbeli eloszlására [VARGA 1985].



82. ábra. Hidrosztatikus (1) és maximális nyírási (2) feszültségek a Földben, különböző d mélységekben $10^\circ \times 10^\circ$ (a) illetve $1^\circ \times 1^\circ$ (b) szférikus szegmenseken ható 10 N/m^2 felszíni terhelés esetén

Fig. 82. Hydrostatic (1) and maximum shear (2) stresses at various d depths in the Earth for a superficial load of 10 N/m^2 exerting its effect over spherical segments of $10^\circ \times 10^\circ$ (a) and $1^\circ \times 1^\circ$ (b), respectively

Рис. 82. Гидростатические (1) и максимальные (2) напряжения в Земле на разных глубинах d при поверхностной нагрузке 10 Н/м^2 , производящей влияние по сферическим сегментам $10^\circ \times 10^\circ$ (a) и $1^\circ \times 1^\circ$ (b) соответственно

Extenzométeres mérések értelmezése

1981 eleje óta működik a Mátyás-hegyi barlangban egy 21 m hosszúságú kvarcrúd extenzométer. Az eddig végzett megfigyelések alapján sikerült megállapítani, hogy az extenzométeres megfigyelések hosszúperiódusú összetevőire a meteorológiai és hidrológiai változások csak kis mértékben hatnak. A hosszúperiódusú variációk tehát a kőzetekben végbement változásokkal hozhatók kapcsolatba. Ezt a feltételezést az is valószínűsíti, hogy azokon az állomásokon, ahol egyidejűleg két vagy több extenzométer is működik, a regisztrátumok időbeli lefutása hasonló. A budapesti állomáson kapott átlagos relatív deformáció értéket ($2,0 \cdot 10^{-6}/\text{év}$) összehasonlítottuk a világ különböző pontján működő 28 állomás átlagos „szekuláris” változás értékével (V. táblázat). Látható, hogy a mi állomásunkon kapott érték tipikusnak mondható.

Ami ennél lényegesen fontosabb az az, hogy — az általánosan elfogadott véleménnyel szemben — nem fedezhető fel semmiféle kapcsolat az állomás tektonikai helyzete és a „szekuláris” komponens között. Az adatok értelmezése azt is megmutatta, hogy a mért extenzométeres komponensek a valóságban végbemenő változásoknál nagyobbak. Ez a következtetés arra alapozható, hogy a kőzetekben létrejövő maximális rugalmas feszültség értéke $p = 10^7 \text{ N/m}^2$ lehet, míg a nyírási modulus átlagosan $\mu = 3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$. Ha két földrengés között

[1] Kontinens Ország	[2] Állomás	[3] Extenzométer típusa	[4] Deformáció × 10 ⁻⁶ /év
[5] <i>Észak-Amerika</i> USA	California Odgensburg Poorman mine La Jolla Nevada Pinon Flat Aleuts	[a] kvarc rúd kvarc rúd [b] lézer lézer kvarc rúd lézer kvarc rúd	1,0 0,1 0,6 0,2 2,0 0,3 3,0 <hr/> Átlag: 1,0
[6] <i>Európa</i>			
[7] Nagy-Britannia	Yorkshire ? ? ?	[c] huzal lézer huzal lézer	0,2 0,7 5,0 5,0
[8] NDK	Tiefenort	huzal	2,2
[9] NSZK	Schiltach	huzal	10,0
[10] Magyarország	Budapest	kvarc rúd	2,0
[11] Szovjetunió	Protvino Tbilisi	kvarc rúd kvarc rúd	0,5 4,0 <hr/> Átlag: 3,3
[12] <i>Ázsia</i>			
[13] Japán	Osakayama Amagase Kamigao Esashi Erimo	huzal huzal huzal kvarc rúd huzal	2,0 1,2 4,0 0,2 0,2
[14] Szovjetunió	Talgar Garm Turgen Tschusal Inguri	kvarc rúd kvarc rúd kvarc rúd kvarc rúd kvarc rúd	1,6 0,5 6,0 1,5 2,0 <hr/> Átlag: 1,9
[15] <i>Ausztrália, Óceánia</i>			
Ausztrália	? ?	kvarc rúd huzal	2,0 5,0 <hr/> Átlag: 3,5
[16] Összes mérés átlaga:			2,2

$t=100$ év telik el, akkor a maximális deformáció $p/(\mu t) \cong 3 \cdot 10^{-6}/\text{év}$. Így belátható, hogy a megfigyelésekből adódó $2,1 \cdot 10^{-6}/\text{év}$ „szekuláris” változás érték túlzóan nagy, hiszen az azt jelenti, hogy a Földön mindenütt a megfigyelt deformációk a maximális lehetségeshez közeliek.

Irodalom

- ABOURS S., LECOLAZET R. 1977: New results about the dynamical effects... Proc. of the 8th Int. Symp. on Earth tides, Bonn.
- MELCHIOR P. 1977: Report of activities of the ICET. Proc. of the 8th Int. Symp. on Earth tides, Bonn.
- MOLODENSKY M. S., KRAMER M. V. 1961: Zemnye prilivi i nutatsiya Zemli. Izdatelstvo AN SSSR, Moskva.
- SIMON Z., BROS J., HOLUB S. 1979: Gravimetric tidal observations made at Pecny, 1970–77. Travaux Geophysiques XXVII, No. 521.
- VARGA P. 1985: Influence of external forces on the triggering of earthquakes. Earthquake Prediction Research, Terrapub, Tokyo, vol. 1., pp. 125–135.
- WAHR J. M. 1981: Body tides on an elliptical, rotating, elastic and oceanless earth. Geophys. J. R. Astron. Soc., 64, pp. 677–703.

V. táblázat. Extenzométerekkel megfigyelt hosszúperiódusú „szekuláris” deformációk

Table V. Long period “secular” deformations observed with extensometers

[1] — Continent, country; [2] — station; [3] — extensometer type; [4] — deformation $\times 10^{-6}/\text{year}$ [5] — North America; [6] — Europe; [7] — Great Britain; [8] — GDR; [9] — FRG; [10] — Hungary; [11] — Soviet Union; [12] — Asia; [13] — Japan; [14] — Soviet Union; [15] — Australia, Oceania; [16] — mean of all measurements; [a] quartz rod; [b] laser; [c] wire

Таблица V. Длиннопериодические „вековые” вариации, наблюдаемые при помощи экстензометров

[1] — континент, страна; [2] — станция; [3] — тип экстензометра; [4] — деформация $\times 10^{-6}/\text{год}$; [5] — Северная Америка, США; [6] — Европа; [7] — Великобритания; [8] — ГДР; [9] — ФРГ; [10] — ВНР; [11] — СССР; [12] — Азия; [13] — Япония; [14] — СССР; [15] — Австралия, Океания; [16] — Средняя от всех измерений; [a] — кварцевый стержень; [b] — лазер, [c] — проволока