

ALMÁR IVÁN, ILLÉS ERZSÉBET

A FELSŐLÉGKÖRI GEOMÁGNESES EFFEKTUS VIZSGÁLATA
MESTERSÉGES HOLDAK FÉKEZŐDÉSE ALAPJÁN

1. Bevezetés

Roemer (1) és mások részletesen vizsgálták a geomágneses viharok idején fellépő sűrűségváltozásokat, túlnyomórészt a pályaelemek változásai alapján. Ezen vizsgálatok fő célja a légköri válasz késésének és összintenzitálásának (amplitudojának) vizsgálata volt.

Ismeretes, hogy első közelítésben a légsűrűség egy mesterséges hold pályájának perigeumpontja fölött arányos a mesterséges hold gyorsulásával, azaz keringési idejének megváltozásával. Közel körpálya esetén ez a feltevés nem érvényes, de egy normál pályaeccentricitású mesterséges hold periódusgörbéje hűen tükrözi a felsőlégkör egy meghatározott rétegének sűrűségváltozásait. Nevezetesen geomágneses viharok idején, amikor a globális légsűrűség egy vagy két napra a normális érték többszörösére növekszik, valamennyi mesterséges hold periódusgörbéjén különböző mértékben, de azonos időpontban egy lefelé való eltolódást kell tapasztalnunk, amely könnyen mérhető közvetlenül a geomágneses vihar előtti és utáni megfigyelésekből.

Ez a ΔP eltolódás egyrészt nyilvánvalóan mértéke a geomágneses fűtésre fellépő légköri "válasz" összintenzitásának, másrészt függ a kérdéses mesterséges hold pillanatnyi pályaelemeitől és hatáskeresztmetszetétől is. (Léggömbholdak esetében a Nap sugárnyomásától származó periódusváltozás is lényeges lehet, hatását le kell vonni a megfigyelt ΔP értékből.)

Példaképpen az 1. ábrán bemutatjuk két magasan keringő Explorer léggömbhold periódusváltozás görbéit az 1972. aug. 4-9 közötti nagy geomágneses vihar idején. Felülről az 1. és 2. görbén az üres karikákkal jelzett szakaszok a megfigyelt, a ponttal jelöltek a sugárnyomás hatásának figyelembevételével redukált, végleges periódusértékeket mutatják. A periódusgörbék

meghatározását 24 megfigyelőállomás vizuális és 2 állomás fotografikus észlelései ("Atmoszféra program") alapján Illés Erzsébet és Horváth András végezte a PERLO számítógépi programmal (2). A 3. és 4. görbe a numerikus differenciálással kapott gyorsulásgörbe. Figyeljük meg a vihar hatását a gyorsulásra, amely időben egybeesik a legalul bemutatott a_p (A_p) geomágneses index maximumával. Feltüntettük az ábrán a naptevékenységet jellemző $S_{10.7}$ (más jelöléssel $F_{10.7}$) értéket is.

A megfigyelések összehasonlítása a megfelelő modell-értékekkel kétféleképpen végezhető el:

1. Hasonlítsuk össze a mért ΔP_{obs} értéket közvetlenül egy valamely légköri modellt is tartalmazó numerikus pályaintegrálási program segítségével ugyanerre a holdra és ugyanerre az időszakra kapott P_c értékkel. Ezen utóbbi mennyiség kiszámításához a hold pályáját és pillanatnyi hatáskeresztmetszetét pontosan ismerni kell. Az összehasonlítás ebben az esetben a numerikus integrálási eljárásban felhasznált légköri modell javítására vezet.
2. Redukáljuk a mért ΔP_{obs} értékeket úgy, hogy elosztjuk a vihar előtti és utáni "nyugalmi" gyorsulás P_o értékével (esetleg, ha a vihar előtti és utáni gyorsulás különböző, megfelelően interpolálva a "nyugalmi" értéket). Ebben az esetben

$$\frac{\Delta P}{\bar{P}_o} - 1 = \frac{\int_a^b (\dot{P} - \dot{P}_o) dt}{\bar{P}_o} = \frac{\int_a^b (\rho - \rho_o) dt}{\bar{\rho}_o} = D$$

Ha fennáll az arányosság \dot{P} és a sűrűség ρ között, akkor, mint a fenti képletből evidens, egy a kérdéses mesterséges holdtól független "mérték" áll rendelkezésünkre, amely jellemzi a légsűrűség teljes megváltozását a geomágneses vihar idején. Hasonlítsuk ezt össze azzal az elméleti értékkel, amelyet egy alkalmas légköri modelltől számított sűrűséggörbének a vihar idejére ("a"-tól "B"-ig) történő numerikus integrálásával kapunk!

Még 1970-ben javasoltuk egy "ekvivalens időtartamnak" (D) nevezett új paraméter bevezetését a felsőlégköri geomágneses effektus összintenzitásának jellemzésére (3). Az általánosan használt "amplitudo" paraméter kevés-

sé alkalmas az összintenzitás kifejezésére; a sűrűséggörbék csucseit a vihar maximuma idején ugyanis a megfigyelések nem kielégítő időbeli felbontása miatt rendszerint "levágjuk", és ezért az amplitudo a reálisnál kisebbnek adódik.

Többféle módszert javasoltunk az ekvivalens időtartam értékének levezetésére mesterséges holdak megfigyeléseiből, vagy publikált pályaelemekből. 1972-ben analizáltuk az addig levezetett ekvivalens időtartam értékek és a megfelelő modell-értékek hányadosainak magasságfüggését, és ez elvezetett a Jacchia-71 modell (4) szignifikáns javítására 200 és 300 km között, ahol a modell nyilvánvalóan alulbecsli a geomágneses effektus intenzitását (5).

2. Eredmények

1974 végéig összesen 64 ekvivalens időtartam értéket határoztunk meg különböző módszerekkel 15 különböző geomágneses vihar idején. Ezeket rendre összehasonlítottuk a Jacchia-71 modellből numerikus integrálással kapott D_{J-71} értékekkel. Az összehasonlítás eredményét a 2. ábrán mutatjuk be. (Az 1. ábráról levezetett két D-érték a 2. ábrán kereszttel van jelölve.) Az eltérés 200 és 300 km között nyilvánvalóan szignifikáns. Ugyanez az effektus látható a 3. ábrán is, ahol a megfigyelt és a modellből levezetett ekvivalens időtartam értékek különbségét ábrázoltuk, mint a magasság logaritmusának függvényét. 600 km fölött ezzel ellentétes tendencia figyelhető meg, de az eredmények kevésbé meggyőzőek, mert itt már a tökéletesen nem ismert sugárnyomás effektusok hatása felülmulhatja a légellenállásból eredő effektust.

A 4. ábra bemutatja a megfigyelt és a modellből levezetett ekvivalens időtartam értékek közötti korrelációt. A regressziós koefficiens $r = 0.64$. Miután 200 és 300 km között egy empirikus lineáris korrekciót alkalmaztunk - megszorozva minden $\frac{S - S_0}{S_0}$ -t egy $(6.67 - 0.017 h)$ alakú korrekciós faktorral - a korreláció megjavult és a regressziós koefficiens $r = 0.79$. (5. ábra)

Valamennyi Jacchia-modellben a légsűrűség közvetlenül a T_{∞} exoszferikus hőmérséklet függvénye, amelyet a maga részéről olyan bemenő paraméterek határoznak meg, mint a helyi idő, a napfluxus intenzitása $F_{10.7}$ és a geomágneses index A_p . A Jacchia modell legújabb változatában azonban 200 km alatt direkt kapcsolat szerepel a geomágneses index és a megfelelő sűrűségérték között. Megkíséreltük alkalmazni e formulát 200-300 km között is, de a javítás csak kismértékű volt. Mindenesetre annyi nyilvánvaló - s ezt saját eredményeink is alátámasztják - hogy erős geomágneses viharok idején a légköri sűrűségnek a magassággal való változása 200-300 km körül nem irható le egyetlen, stacionárius állapotnak megfelelő (vagyis egyetlen T_{∞} -hez tartozó) sűrűségprofillal.

Más szerzők felsőlégköri modelljeiben direkt, explicit kapcsolat szerepel a légsűrűség és a megfelelő geomágneses index között az egész felsőlégkörben. A modellekben szereplő különféle formulák egy adott magasságon összekapcsolják a geomágneses indexek valamelyikét (a_p , A_p , K_p) és a légsűrűség relativ megváltozását:

$$\frac{S-S_0}{S_0} = \beta A_p \text{ vagy } \frac{S-S_0}{S_0} = \beta \ln a_p$$

alakban, ahol S_0 a nyugalmi körülmények között érvényes légsűrűség-érték, β pedig egy a magasságtól, napfluxustól, helyi időtől stb. függő, explicit függvény. Mindkét oldalt integrálva, kapcsolatba hoztuk a mért ekvivalens időtartamot a geomágneses indexnek a geomágneses vihar idejére vett integráljával. Minthogy az utóbbi könnyen számítható, felhasználhatjuk ezt a módszert a β függvény alakjának javítására:

$$\frac{D}{L} = \beta \quad \text{ahol} \quad L = \int_a^b A_p dt \quad \text{vagy} \quad L = \int_a^b \ln a_p dt$$

Roemer (1) egyszerű összefüggést javasolt, amelyben β független a magasságtól és más paraméterektől 400 és 800 km között. Eredményeink ezt az állítást nem igazolják. Eljaszberg, Alfjorov, Anderson és más szerzők

műveiben a felsőlégkör különböző rétegeire más és más komplikált függvényeket találunk. Eljaszberg és csoportjának 300 km-ig terjedő felsőlégköri modelljében $(6)\beta$ a magasság lineáris függvénye és függ $S_{10.7}^{-1}$ -től, a nap-fluxus intenzitásától is:

$$S = S_H k_1 k_2 k_3 k_4$$

ahol $k_4 = 1 + (e_1 + e_2 h) \ln \frac{ap}{ap}$

és e_1, e_2 az $S_{10.7}$ -től függő paraméterek.

Egy speciális esetben, 9 megfigyelt ekvivalens időtartam érték segítségével ellenőrizni tudtuk ezt az összefüggést egy 1966-os geomágneses viharral kapcsolatban. A megfigyelt értékek ebben az esetben mind szignifikánsan nagyobbak voltak a Jacchia modell megfelelő D_{J-71} értékeinél. Az eredmény szerint, amelyet a 6. ábrán mutatunk be, a mi megfigyelt értékeink sokkal jobban illeszkednek az Eljaszberg és munkatársai által kidolgozott modell megfelelő görbéjére, mint a Jacchia modellből származtatott értékek. Az egyezés 300 km fölött nem ilyen jó.

Ez az eljárás azonban új lehetőséget ad arra, hogy megjavítsuk a geomágneses effektus formuláit különböző modellekben. Minthogy ezek a formulák jelentős szerepet játszanak alacsony perigeumu holdak pályaváltozásainak előrejelzésében, javításuk kétségtelenül fontos ezen utóbbi szempontból is.

3. A periódusváltozások közvetlen összehasonlítása

Már említettük az összehasonlítás egy másik lehetőségét, tudniillik a mért ΔP_{obs} értékek közvetlen összehasonlítását a numerikus integrálás útján kapott ΔP_c értékekkel. Ha ismeretes a vihar teljes időtartama (b-a), akkor a

$$\frac{\Delta P_{obs}}{\Delta P_c} = \frac{D_{obs} + (b - a)}{D_c + (b - a)}$$

összefüggés lehetővé teszi, hogy a $\frac{\Delta P_{\text{obs}}}{\Delta P_{\text{c}}}$ arányt közvetve az ekvivalens időtartam értékekből vezessük le. Egy közvetlen meghatározás azonban sokkal értékesebb, mert az eredmények függetlenek két kritikus feltevéstől:

1/ hogy a perigeum körüli légellenállás hatása dominál a hold fékeződésében;
2/ hogy a nyugalmi sűrűség nem változik lényegesen a vihar ideje alatt. A módszer alkalmazására csak jól ismert pályájú és hatáskeresztmetszetű holdaknál van lehetőség egy olyan pályaszámítási program segítségével, amely a kérdéses felsőlégköri modellt is tartalmazza.

A moszkvai Űrkutatási Intézet munkatársa, B. Kugajenko hozzájárult kutatásainkhoz azzal, hogy bizonyos Kozmosz típusu holdakra ΔP_{c} értékeket számolt. Felhasználta az Intézet numerikus integrálási programját és meghatározta néhány Kozmosz hold anomalisztikus periódusának teljes megváltozását egy 1966 évi geomágneses vihar idején - ahogy elméletükből következik (ΔP_{iki}). A keringési idő megfigyelt teljes megváltozása ezekben az esetekben mintegy 20%-kal volt nagyobb, mint az Intézet által megadott elméleti értékek. Az eredményeket a 7. ábrán mutatjuk be. Az eltérések hasonló nagyságrendűek, ha a Jacchia-71 modellt használjuk összehasonlításként.

Érdemes megemlíteni két esetet, midőn a ΔP_{obs} értékeket közvetlenül össze lehetett hasonlítani olyan $\Delta P_{\text{iki/obs}}$ értékekkel, amelyeket az Intézetben rendelkezésre álló megfigyelésekből vezettek le. Mint a 7. ábrán bekarikázott két pont jelzi, szignifikáns eltéréseket ebben a két esetben nem találtunk.

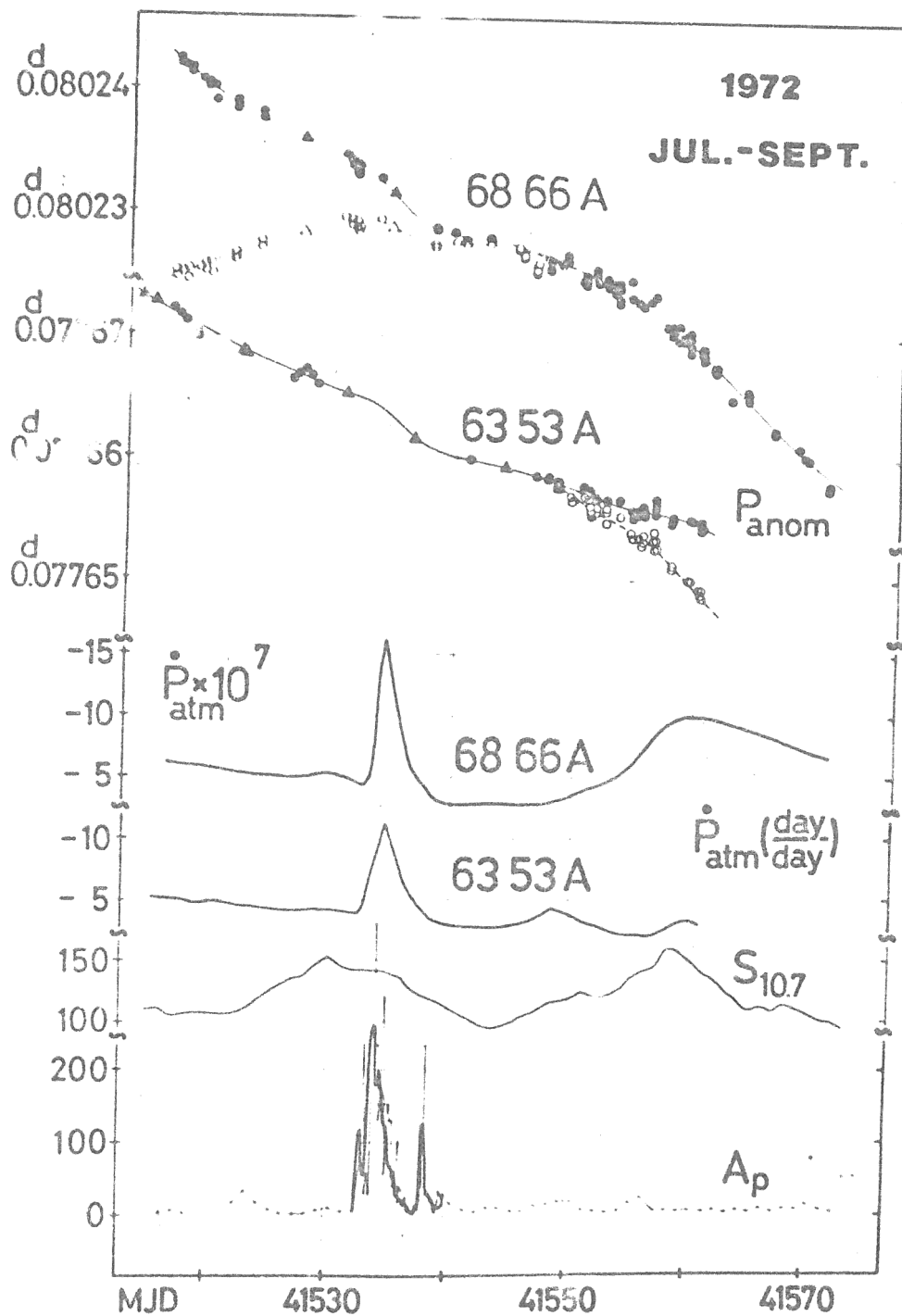
Hangsúlyozni szeretnénk eredményeink előzetes jellegét.

További kutatások szükségesek, és igen előnyös lenne, ha mindkét módszert egyidejűleg lehetne ugyanazon holdakra és viharokra alkalmazni. Bebizonyítható, hogy az ekvivalens időtartam és a teljes periódusváltozás egyidejű meghatározása alapján el lehet végezni a légköri és nem-légköri eredetű hatások szétválasztását a periódusgörbén. Ez a módszer fontos lehet magasan keringő léggömb holdak analízise esetében.

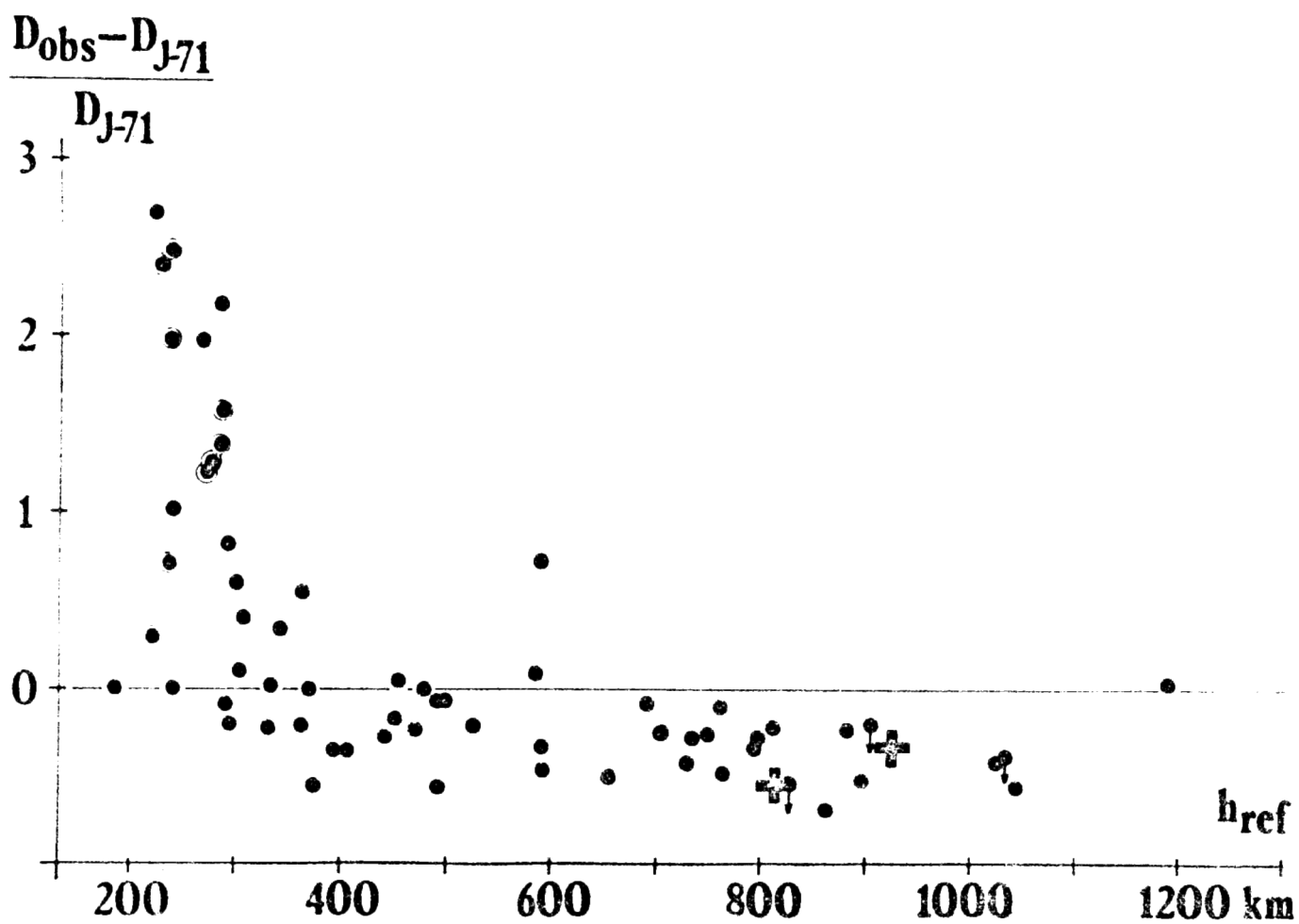
A szerzők köszönettel tartoznak Horváth András kandidátusnak az 1972 augusztusi ekvivalens időtartam értékek levezetésében való közreműködésért, valamint Nagy Máriának és Szabó Andreának, az MTA Csillagvizsgáló Intézet dolgozóinak a feldolgozással kapcsolatos számítások gondos végzéséért.

Irodalom

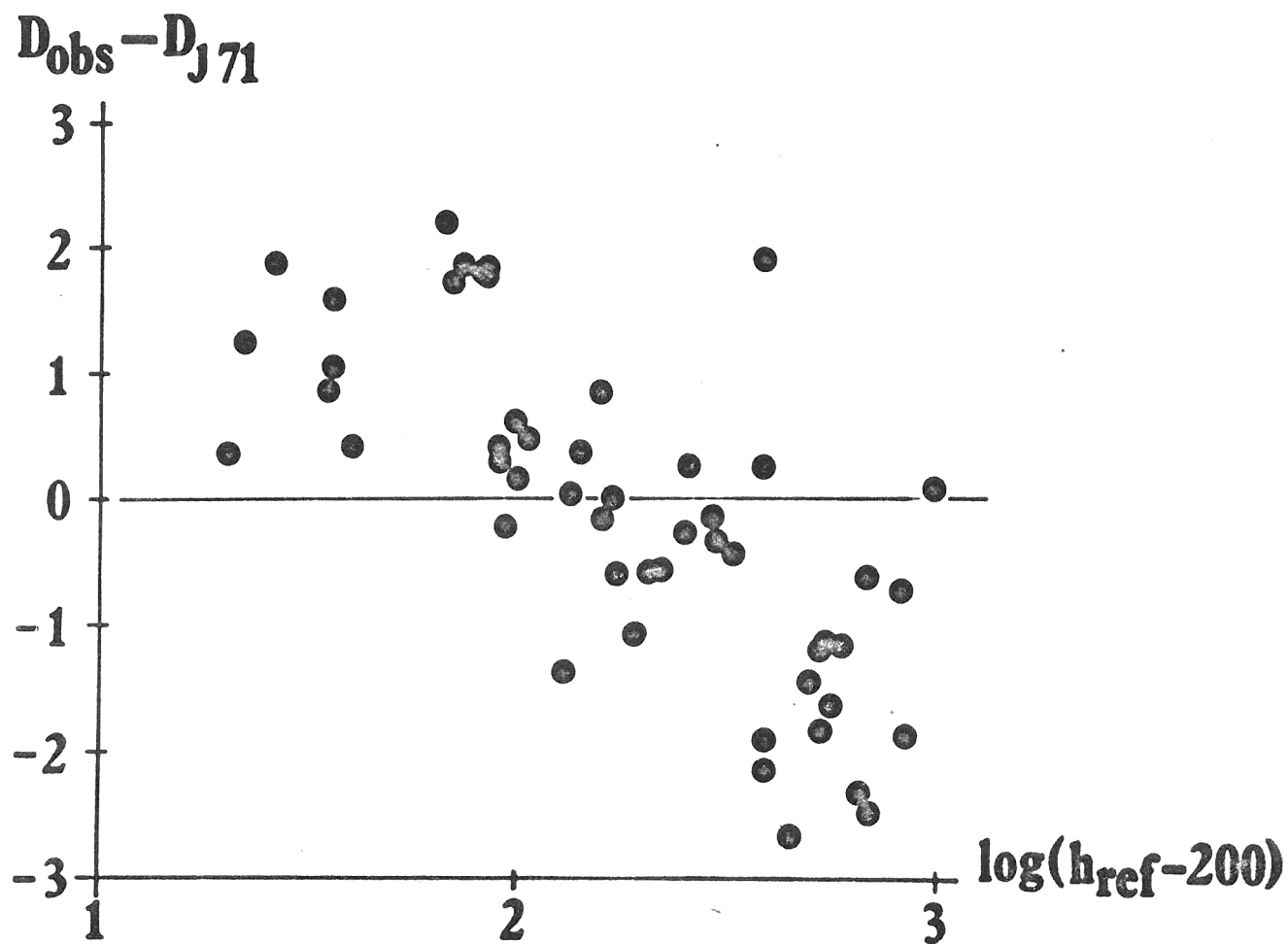
1. M. Roemer, Veröffentlichungen der Astr. Institute Bonn No. 85
(1972)
2. E. Illés-Almár, A. Horváth, Nabljugyénija iszkussztvennüh szputnyikov
Zemli, No. 14 Bukarest, (1974)
3. I. Almár, E. Illés-Almár, Space Research XI., Berlin (1971)
4. L. G. Jacchia, SAO Special Report 332 (1971)
5. I. Almár, E. Illés-Almár, Space Research XIII., Berlin (1973)
6. P. E. Eljaszberg, Prikladnüe zadacsi koszmicseszkoj ballisztiki
Nauka, Moszkva (1973)



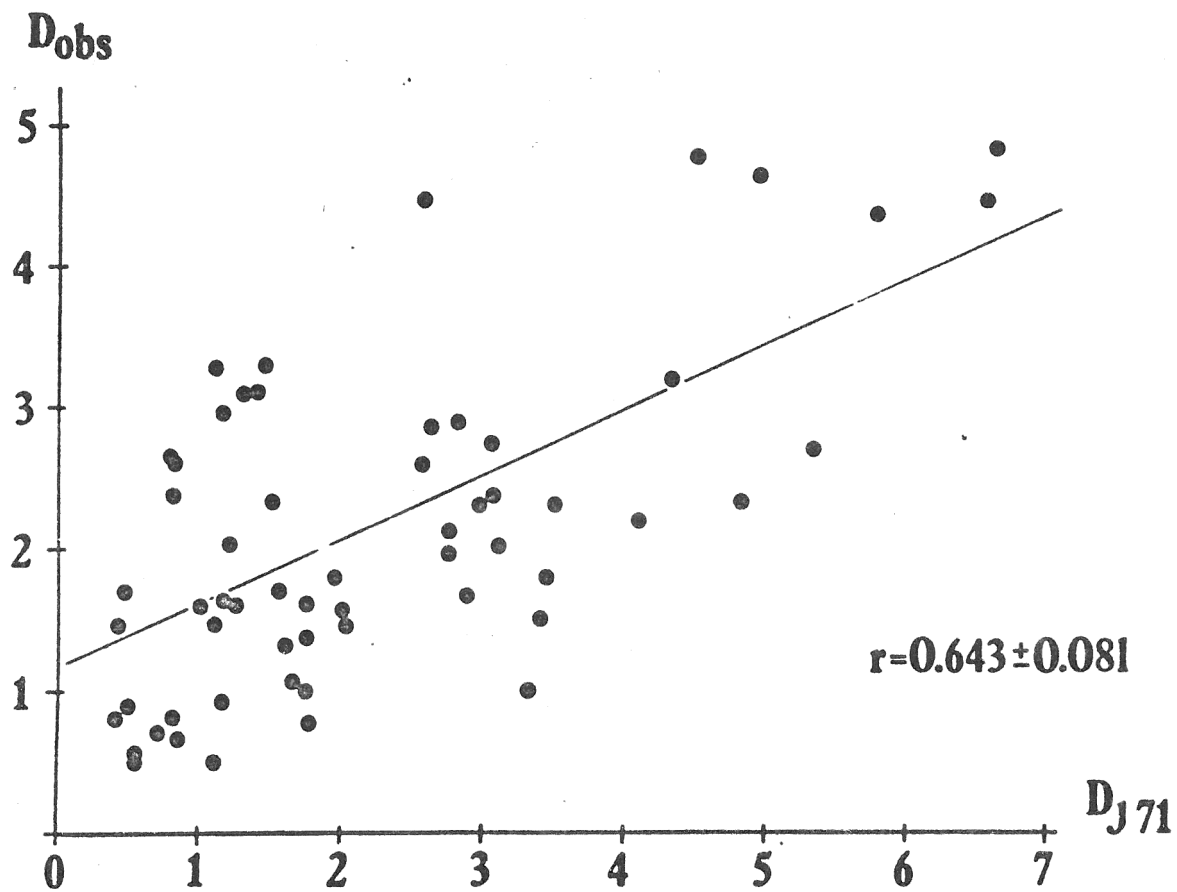
1. ábra



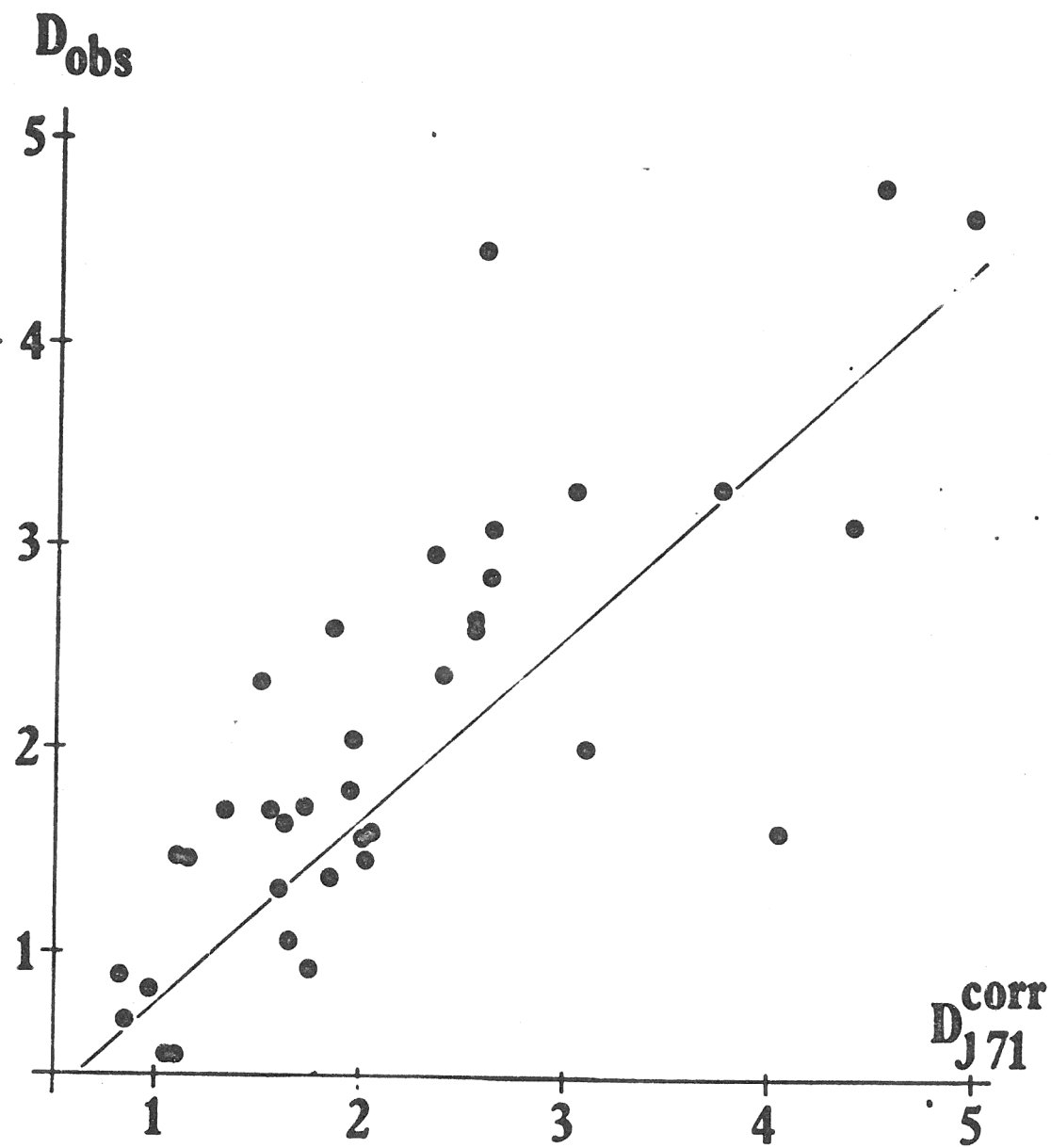
2. ábra



3. ábra



4. ábra

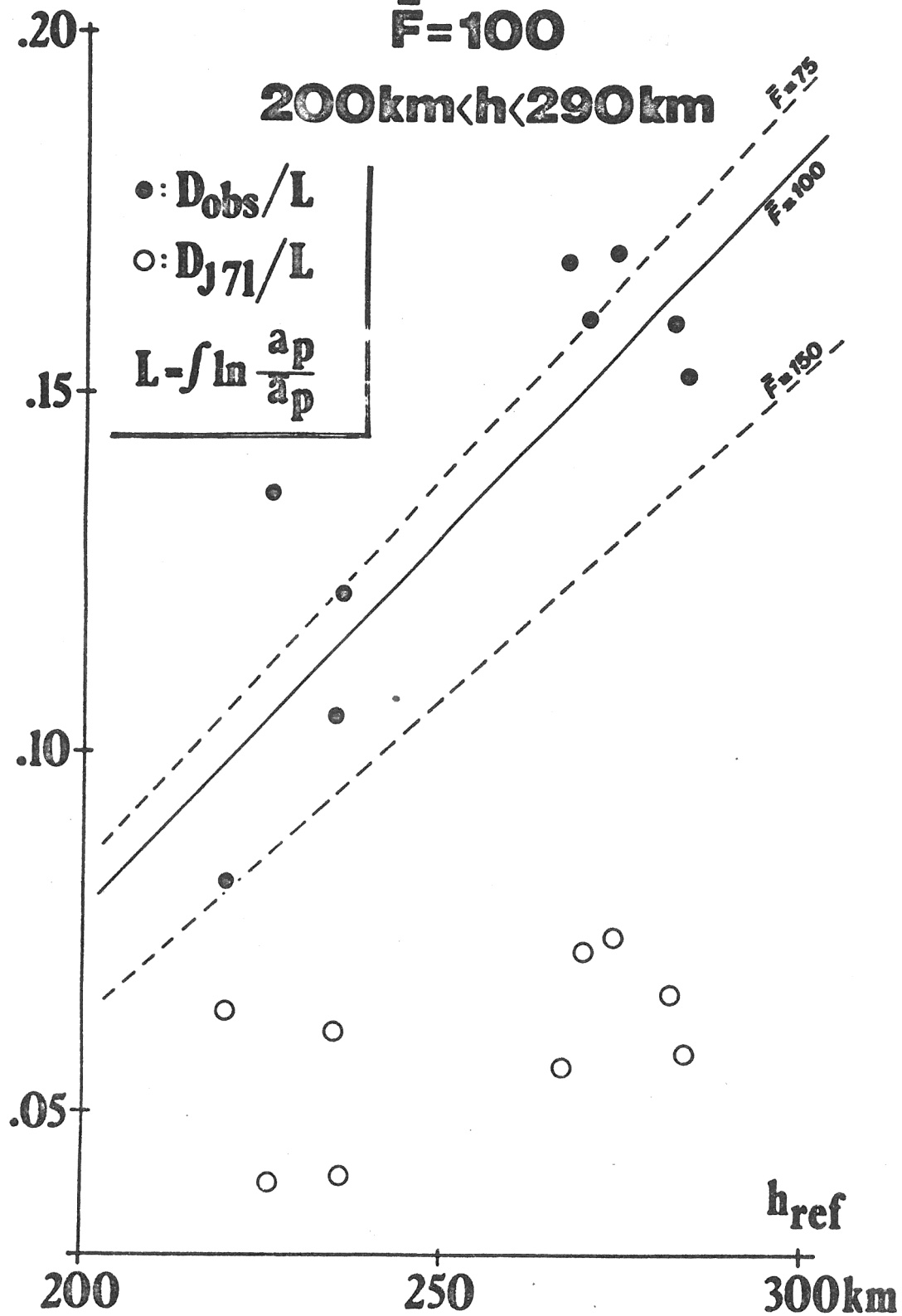


$$r = 0.791 \pm 0.062$$

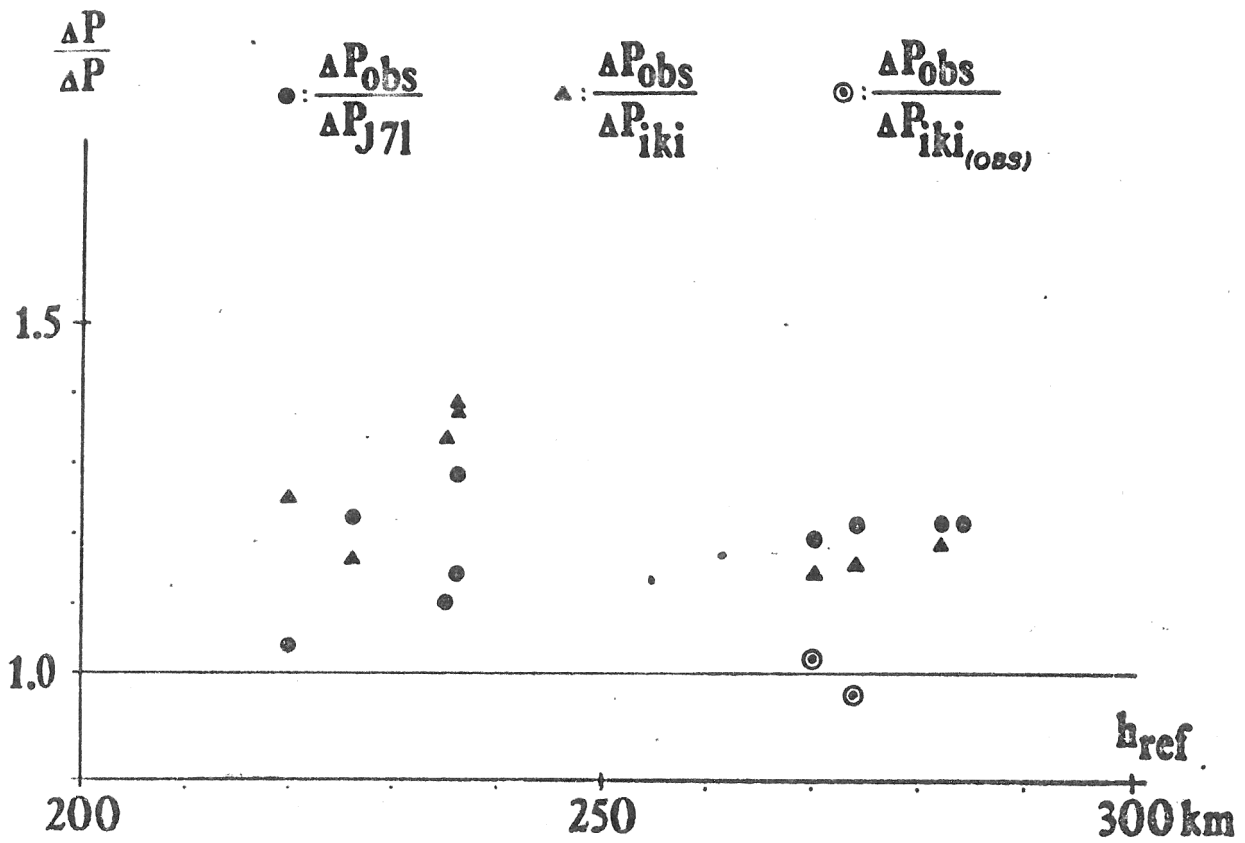
$$200 \text{ km} < h_{ref} < 590 \text{ km}$$

5. ábra

1966 AUG-SEPT

 $\bar{F}=100$ $200\text{km} < h < 290\text{km}$ 

6. ábra



7. ábra