

HUNGARIAN GEOPHYSICAL INSTITUTE 'ROLAND EÖTVÖS'
MAGYAR ÁLLAMI EÖTVÖS LORÁND GEOFIZIKAI INTÉZET
ВЕНГЕРСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Л. ЭТВЕША

GEOPHYSICAL TRANSACTIONS

GEOFIZIKAI KÖZLEMÉNYEK
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

24

BUDAPEST, 1977

Felelős szerkesztő
Managing Editor
Ответственный редактор
MÜLLER PÁL

Szerkesztő bizottság
Editorial Board
Редакционная коллегия

ÁDÁM OSZKÁR, ERKEL ANDRÁS, PINTÉR ANNA, POSGAY KÁROLY,
SEBESTYÉN KÁROLY

Szerkesztő
Editor
Редактор
NAGY MAGDOLNA

ETO/UDC 550.3(061.6) (439 Budapest) (058)
ISSN 0016—7177

Felelős kiadó: MÜLLER PÁL
Technikai szerkesztő: NAGY MAGDOLNA
Grafikai szerkesztő: NÉMETH LAJOS
Formátum B/5 — Papírmínőség: 100 g Delta

76.1218 — Kossuth Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Monori István vezérigazgató

CONTENTS

<i>Szénás, G.</i> : Geophysics and Earth structure	38
<i>Tyapkin, K. F.</i> : A new rotation hypothesis on the development of the tectonic system of the Earth's crust	39
<i>Sz. Kúlényi, É.-R. Hegybiró, Zs.</i> : On the possibilities of tracing litho-statigraphical changes of sandstone bodies	53
<i>Késmárky, I.</i> : Estimation of interval velocities and the geological model	63
<i>Barsenkov, S. N.—Varga, P.—Volkov, V. A.</i> : Certain methodological questions concerning the processing of gravitational tidal data	77
<i>Arkadyev, E. A.—Gorbachev, Yu. I.—Karus, E. V.—Petrosyan, L. G.</i> : New versatile nuclear and acoustic logger	83
<i>Appendix</i>	91

TARTALOM

<i>Szénás György</i> : Geofizika és földszerkezet	5
<i>Tyapkin K. F.</i> : Új rotációs elmélet a Föld tektonikai rendszereinek magyarázatára	52
<i>Sz. Kúlényi Éva—R. Hegybiró Zsuzsanna</i> : Módszertani kísérletek homokkőszintek litosztratiográfiai változásainak nyomkövetésére	61
<i>Késmárky István</i> : Az intervallumsebesség becslési hibái és a geológiai modell	74
<i>Barsenkov Sz. N.—Varga P.—Volkov V. A.</i> : A gravitációs árapály megfigyelések feldolgozásának néhány metodikai kérdéséről	82
<i>Arkadyev E. A.—Gorbacsev Ju. I.—Karusz E. V.—Petroszjan L. G.</i> : Új komplex nukleáris és akusztikus lyukszelvényező berendezés	89
<i>Függelék</i>	91

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сенаш, Г.</i> : Геофизика и строение Земли	38
<i>Тяпкин, К. Ф.</i> : Новая ротационная гипотеза формирования тектонических структур в земной коре	52
<i>С. Килени, Э.—Р. Хедьбиро, Ж.</i> : Методические опытные работы для прослеживания литостратиграфических изменений в песчаных пластах	61
<i>Кешмарки, И.</i> : Погрешности оценки интервальных скоростей и геологическая модель	75
<i>Барсенков, С. Н.—Варга, П.—Волков, В. А.</i> : Некоторые методические вопросы обработки результатов наблюдений гравиметрических приливов	82
<i>Аркадьев, Е. А.—Горбачев, Ю. И.—Карус, Б. В.—Петросян, Л. Г.</i> : Комплексная аппаратура для радиометрических и акустических исследований скважин	90
<i>Дополнение</i>	91

GEOFIZIKA ÉS FÖLDSZERKEZET

SZÉNÁS GYÖRGY*

Bevezetés

A kéregszerkezet fogalmat eddig igen tág értelemben használtuk. A modern geofizika már a köpeny, sőt az egész Föld szerkezetét vizsgálja. Ezért van e tanulmány címében *földszerkezet*. Kéregszerkezeetről csak akkor beszélünk, ha valóban a szoros értelemben vett kéreg szerkezetéről van szó.

A kérget és a köpenyt egyrészt megkülönböztetjük, másrészt — újabban — szorosabb egységbe foglaljuk. A legmodernebb geotektonikai hipotézis, a lemeztectonika (BULLARD, 1964; LE PICHON, 1968; ISACKS ET AL., 1968 stb.) egy olyan közetlemez — az ún. litoszféra — mozgásaiból származtatja a geotektonikai jelenségeket, amely a kéreg mellett a felső köpeny felső részét is magában foglalja.

A nagy geotektonikai hipotézisek azon mérik le saját érvényüket, hogy a Föld életjelenségeit — elsősorban az orogenezist — mennyire tudják megmagyarázni. Minthogy nem ismeretes olyan hipotézis, amely a lánchegységeket keletkezési mechanizmusuk szerint differenciálná, illetve egyáltalában elismerné ilyen differenciálás jogosságát, a hipotézisek ajánlotta megoldásokat általános érvényűnek kell tekintenünk.

Most, amikor geofizikai, főleg szeizmikus kutatásokból a Kárpát-rendszer kéregszerkezetét már meglehetősen jól ismerjük, akaratlanul is kihívást érzünk, hogy a modern geotektonikai elméleteket erre a rendszerre alkalmazzuk.

Ha pártatlanul — és szerkezetének alapos ismeretében — megkíséreljük rendszerünket a hipotézisekkel egybevetni, kiderül, hogy a nagy hipotézisek nem alkalmasak minden kis tektonikai egység magyarázatára.

Lehetséges, hogy hegységképződést nem csupán egyetlen mechanizmus hozhat létre. Ajánlatos ezért a hegységképződés egész fogalomkörét revízió alá venni.

Alig hihető, hogy egyetlen, egységes hipotézissel mind az alpi, mind a cirkumpacifikus rendszert, mind az Uralt, mind pedig a Kárpátokat meg lehetne magyarázni.

Ebben a tanulmányban a két legmodernebb geotektonikai hipotézist — a konvekciós áramok hipotézisét és az *ocean floor spreading* vagy lemeztectonika hipotézisét — vetjük össze a Kárpát-rendszerrel.

A Kárpát-rendszert a közelmúltban geofizikai szempontból elemeztük (SZÉNÁS, 1964; 1969). Ennek az elemzésnek azonban ilyen célja nem volt, és a levont következtetések viszonylag sok interpolációt tartalmaztak. Azóta azonban befejezték

* A szerző halála előtt (1974) írt utolsó munkája, szinte első fogalmazványának tekinthető. A lektorok, Ádám Oszkár, Jámbor Áron és Sz. Kilyéni Éva számos pontban nem értenek egyet a szerző felfogásával, de úgy vélik annyira érdekes, gondolatébresztő ötletet, új szempontok szerint feldolgozott adatot tartalmaz a dolgozat, hogy jelen formájában is érdemes közreadni. A szövegen változtatni — elvi okokból — nem akartak (szerkesztő megjegyzése).

az V. és VI. nemzetközi kéregkutató szeizmikus szelvényt (*Nemzetközi Munkaközösség*, 1971), amelyek feleslegessé teszik, ill. adatokkal helyettesítik a korábbi interpolációk egy részét. Ez önmagában is szükségessé teszi, hogy a Kárpát-rendszert röviden újra áttekintsük.

A Kárpátok és a Kárpát-medence között olyan szoros kapcsolat van, hogy többnyire együtt érdemes tárgyalni őket. A *Kárpát-rendszer* fogalom azonban még ennél is többet fejez ki: a medencét és a koszorúzó, teljes hegységvonulatot, tekintet nélkül annak korára és tektonikai jellegére. Amikor ennek a rendszernek csak egy-egy tagját említjük, azt mindig szoros értelemben kell venni.

A Kárpát-rendszer régi modelljének rövid áttekintése

A Kárpát-rendszer említett elemzését elsősorban a III—IV. (összefüggő) nemzetközi, valamint a dunántúli nemzeti szeizmikus kéregkutató szelvényre (1., 2. ábra) alapoztuk. A modell kialakításában ezenkívül gravitációs, földmágneses, elektromágneses és geotermikus adatoknak, továbbá közismert földtani tényeknek is szerepe volt. A modell lényege a következő.

A *Kárpátok* két részre oszlanak: egy *belső* (ún. „maghegységi” és „szirtes”), valamint egy *külső* (flis) vonulatra. Állítottuk, hogy a belső vonulat nem lánchegység szerkezetű. Geotektonikailag nem a Kárpátokhoz, hanem a *Kárpát-medencéhez* tartozik: medencealjzat a felszínen. Ezt bizonyítja a normális kéregvastagság (30—35 km), a szabálytalan földmágneses anomáliakép, a szabálytalan és csaknem pozitív gravitációs anomáliakép, továbbá a *lokális* jellegű izosztatikus kompenzáció.

A lánchegység néhány geofizikai ismérvét: a nagy értékű, összefüggő gravitációs minimumvonulatot és a vastag kérget kizárólag a külső (flis) vonulatban és az északi elősüllyedékben találjuk meg. A mágneses kép még a külső vonulatban sem lánchegységre jellemző.

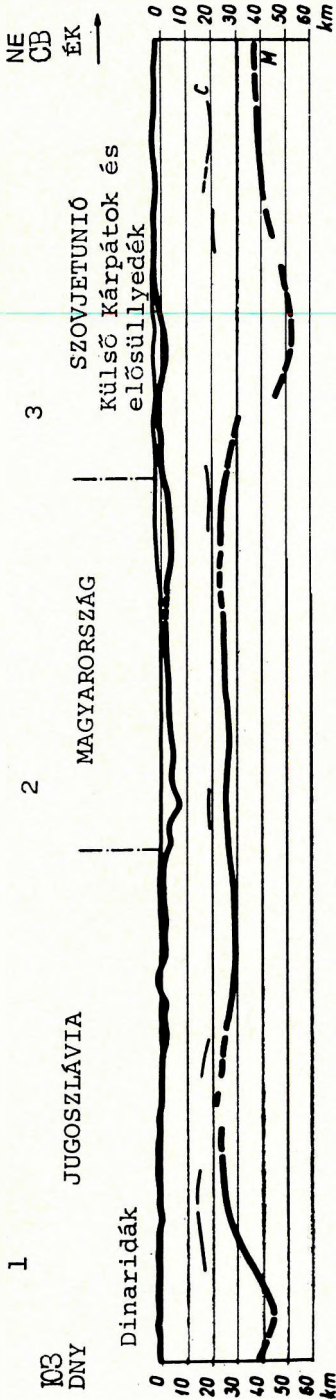
Mindezeknek részletezését, irodalmát és ábraanyagát az idézett (1969) tanulmányban közöltük.

A leírt geofizikai paraméterekre alapozott modellt a felszínen megfigyelhető *szervezetek* megerősítik. A belső Kárpátokban töréses formaelemek uralkodnak; a külső Kárpátokban a hajlítás szerepe jóval nagyobb. A belső Kárpátok „takaróiban”, minden bizonnyal nem a földtani valóság, hanem a takaróelmélet szemlélete nyilatkozik meg.

Ha viszont kizárólag a külső (flis) vonulatot minősítjük valamelyest lánchegységi jellegűnek, akkor olyan lánchegységgel állunk szemben, amelynek nincs geoantiklinális és eugeozinklinális. Tektonikailag és sztratigráfiailag az Alpoknak csak a flis vonulatával korrelálható.

Egy kizárólag flis övből álló lánchegység viszont geotektonikai képtelenség, ha a lánchegységi ismérveket klasszikus módon és mereven fogalmazzuk meg. A továbbiakban azonban éppen azt kívánjuk bizonyítani, hogy a „klasszikus” geotektonikai fogalmak épülete romokban hever és szemléleti kényszer nélkül, a geofizikai mérések eredményeinek kell hinnünk.

Így szemlélve a külső vonulatot, vagy annak flis jellegét, vagy lánchegység jellegét kell kétségbe vonnunk. Mivel azonban a lánchegységi jelleg legfontosabb ismérvét: a vastag kérget tagadni nem lehet, már most állítjuk, hogy geozinklinálisok és lánchegységek másféle szabályok szerint is létrejöhetnek, és másfélék is lehetnek, mint amilyeneket a „klasszikus” irodalom tanít.



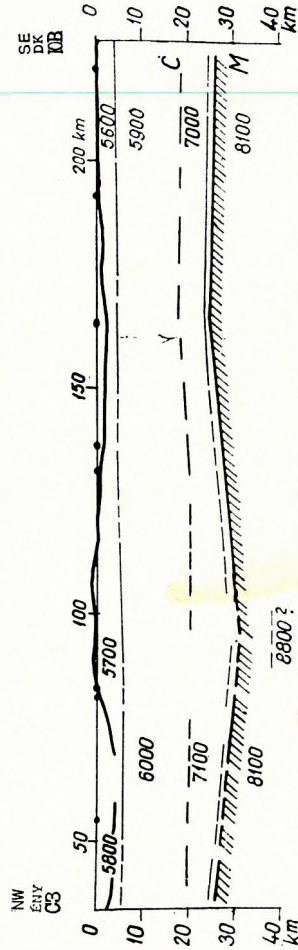
1. ábra. A III. és IV. nemzetközi DSS szelvény (ELGI, Budapest; Ig. AN USSR, Kiev; ZGGI, Belgrád)
 1. Jugoszlávia Dinaridák; 2. Magyarország; 3. Szovjetunió Külső-Kárpátok és elősüllyedék

Fig. 1 Section of joint D.S.S.-profiles III and IV traversing the Carpathian system (ELGI Budapest; Ig. An USSR Kiev; ZGGI Belgrade)

1 Yugoslavia Dinarides; 2 Hungary; 3 USSR Outer Carpathians and foredeep

Рис. 1. Отрезки международных профилей ГСЗ №№ III и IV, пересекающих систему Карпат (ЭЛГИ, Будапешт; ИГ АН УССР; ЗГГИ, Белград)

1 — Югославия, Динариды; 2 — Венгрия; УССР, Внешние Карпаты и передовой прогиб

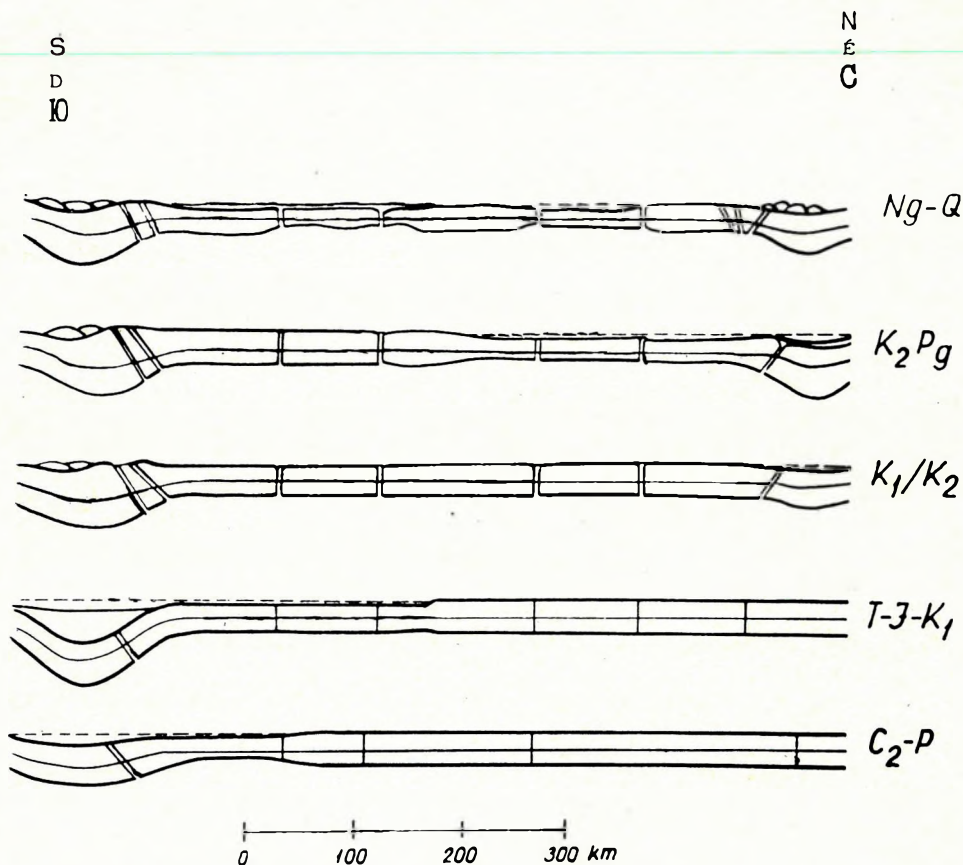


2. ábra. A dunántúli nemzeti DSS szelvény (Mittoson, 1968 nyomán)

Fig. 2 The Hungarian national profile (after Mittoson, 1968)

Рис. 2. Разрез венгерского национального профиля ГСЗ (по Митусон, 1968)

A Kárpát-medence — nyilván nem véletlenül — ugyanakkor kezdett süllyedni, amikor a külső Kárpátok geosinklinálisa (3. ábra): az alsó kréta végén. Állítottuk, hogy azért süllyedt, mert a kéreg alul elvékonyodott, és az elvékonyodást medenceképződéssel kellett izosztatikusan kompenzálnia. Az elvékonyodás és a süllyedés azért szinkronizálható, mert ahhoz, hogy a kéreg alján a Moho diszkontinuitást feljebb toló ultranagy hőmérséklet jöhessen létre, a kéreg aljának zárt kupolát kellett alkotnia. A kupola a flis-geosinklinális kérgének behajlásával (megvastagodásával) zárult be teljesen. Az Alpok, a Dinaridák, a Déli-Kárpátok és a Cseh masszívum a medencét már addig is viszonylag vastagabb kérgű kerettel övezték.



3. ábra. A Kárpátok és a Dinaridák tektonikai fejlődésmenete az alpi orogenezisben

Fig. 3 The tectonic evolution of the Carpathian system in the Alpine orogeny

Рис. 3. Схема тектонического развития систем Карпат в процессе Альпийского орогенеза

A köpeny és a kéreg határán a hővezető képesség gradiense feltehetően hirtelen változik. Ez a tény, valamint a kupola geometriai konfigurációja lehetővé tette, hogy ebben a zárt térben nagy mennyiségű hó halmozódjék fel. Ez a hó a kéreg alját latensen olvadt, túlnyomásos állapotba hozta.

Ugyanaz a külső kárpáti kéregbehajlás, amely a kupolát bezárta, a medence kérgében húzófeszültségeket teremtett. A túlnyomásos kéregalji anyag a húzófeszültségek következtében a kéreg törésein át fellazult, az alsó kréta végi bazaltok formájában a felszín felé igyekezett.

A kéregalj részben termodinamikai értelemben, részben pedig *ténylegesen* pusztulásnak indult. A Moho szint egyre feljebb emelkedett: a kéreg vékonyodott. Ez izosztatikus kompenzáatlanságot hozott létre, amelyet a kéreglemez csak úgy tudott kiegyenlíteni, hogy felső része lesüllyesztésével megkezdte a medenceképződést.

A Conrad felület együtt süllyedt az akkori, vagyis az ausztriai mozgások előtt kialakult felszínnel. Ezért van ma a platform-átlagnál éppen annyival mélyebben, amennyi a süllyedés mértéke, ill. a medenceüledék-összlet vastagsága (2—5 km).

Ez az ausztriai mozgások előtt képződött felszín, amely néhol már a felső krétában, néhol azonban csak a pliocénban kezdett süllyedni, ma a *medenceüledék-összlet* aljzata. *Preausztriai medencealjzatnak* neveztük el, mert érzékeltetni kívántuk, hogy a medence harmadidőszakinak nem tekinthető. A felső kréta üledékképződés — amelynek egy részét fácieshasonlóság miatt flisnek vélik — néhol üledékfolytonossággal megy át a paleogénbe. Ezért azt a kissé furcsán hangzó állítást is megkockáztattuk, hogy a Kárpát-medencében „a harmadidőszak a felső krétával kezdődik”.

A szeizmikus mélyszondázások kimutatták, hogy a köpeny tetejének, vagyis a Moho diszkontinuitásnak a domborzata a preausztriai medencealjzat domborzatával antikorrelál (2. ábra). Ez is megerősíti az említett húzófeszültségek realitását, mert ilyen kéregszerkezet csak akkor jöhet létre, ha a kéreg széttöredezett hatalmas tömbjei viszonylag szabadon mozoghatnak és az egyéni tömbök egyénileg, lokális kompenzációval foglalják el izosztatikus egyensúlyi helyzetüket. Vékonyodó kéreg mellett egy medence másképpen nem is képződhetik.

Az alpi orogenezis szavai fázisában — kb. az oligocén-miocén határon — a Kárpátok és a Kárpát medence térbeli fejlődése ellentétessé vált. A Kárpátok kiemelkedtek, a medencében pedig a süllyedés folytatódott, sőt a pliocénban rohamossá vált. A rohamos pliocén süllyedést az óriási miocén vulkanizmus előzte meg. Ez arra utal, hogy — noha a Kárpátok izosztatikusán éppen akkor egyenlítették ki relatív túlsüllyedésüket — a medencében továbbra is húzófeszültségek uralkodtak.

A kárpáti kéreg ekkor már nem behajlóban és nyílóban, hanem visszaemelkedőben és rövidülőben volt. A medencére gyakorolt húzás szerepét ekkor az északi elősüllyedék vehette át. Tény, hogy kérge vastag és főleg neogén összlet tölti fel. Feltételezhetjük, hogy kérge a paleogén végén kezdett behajlani, vastagodni.

Állítottuk, hogy az ausztriai mozgások előtti üledékképződés az ez utánító lényegesen különbözik. Nem is szabad őket az egyszerű „üledékes összlet” megjelöléssel összevonni (Szénás, 1971).

Az ausztriai mozgások előtti üledékképződés termékei táblás jellegűek, főleg karbonátos fáciesűek és erősen diszlokáltak. Ez az összlet azonban ma már csak maradványaiban ismeretes. Némelyik összletnek — pl. a júrának — döntő többsége lepusztult. Bármilyen impozánsak is pl. a Kárpát-medence triász tömegei, a preausztriai üledékes kőzetekből (ill. ezek maradványaiból) szerkezeti irányokat keresni, geotektonikai következtetéseket levonni lehetetlen. Ez mind a felszínen levő, mind pedig az eltakart preausztriai üledékes összletekre vonatkozik. Az eltakart összleteket emellett csak néhány mélyfúrásból ismerjük.

A *kristályos alaphegységre* is lényegében ugyanezt mondhatjuk. Az alsó kréta előtt, sok helyütt utána is, egészen a pliocénig, olyan intenzív lepusztulás volt, hogy

még a kristályos alaphegységbe is alaposan belemart. Ilyen helyeken a kristályos alaphegység a preausztriai medencealjzattal azonos.

Az ausztriai mozgások után ülepedett üledékes összletet *medenceüledék-összletnek* nevezzük. Ez a felső kréta — harmadidőszaki — összlet csaknem kizárólag törmelékes fáciesű. Jellemző rá a piroklasztikumok nagy mennyisége. Szerkezete — a felső kréta és a dunántúli paleogén egy részét kivéve — kevésbé diszlokált.

*

A Kárpát-medencét végül is olyan sajátos, önálló szerkezeti elemnek minősítettük, amely nyilvánvalóan nem tábla, vékony kérgé miatt nem geoszinclinális, semmi esetre sem valamilyen „köztes tömeg”, és még csak nem is intramontán süllyedék. Azt is állítottuk ugyanis, hogy nem egyetlen hegységvonulaton *belül* van, hanem az egymástól független Dinaridákat és Kárpátokat választja el egymástól. Méretben mindkettővel — még együttesen is — összemérhető. A Kárpát-rendszer a Föld nagytektonikai egységeihez képest igen kicsiny, de mégis önálló szerkezeti kategóriát képvisel, noha az Alpi rendszerhez való tartozása nem kétséges.

A régi modell hiányosságai

Az előző fejezetben leírt modellnek számos hiányossága volt.

Az első hiányosság, hogy a legfontosabb következtetéseket mindössze két szeizmikus szelvény négy konkrét adatára: a medence vékony kérgére, az aljzat-Moho antikorrrelációra, a Conrad-Moho viszonyra és a flis-Kárpátok, valamint a Dinaridák vastag kérgére alapoztuk. Az összes többi elemet — még ha itt-ott egyéb geofizikai bizonyítékokat hívtunk is segítségül — ezekből vezettük le. A hézagok kitöltésében az interpolációnak nagy szerepe volt. A III. szelvény jugoszláv szakaszát akkor még csak vázlatosan ismertük (DRAGAŠEVIČ—ANDRIČ, 1968).

A modell második — be is vallott — hiányossága volt, hogy a kéreg vékonyodását elsősorban a túlmelegedett kéregalj vulkánij jellegű felszínre jutásával magyaráztuk. A kéreg aljáról hiányzó anyagot azonban a medencében levő vulkáni anyag mennyiségével még akkor sem tudtuk magyarázni, ha az erodált, le sem ülepedett stb. mennyiségeket is figyelembe vettük.

A harmadik hiányosság az volt, hogy a felső köpeny Gutenberg-csatornájának lánchegysége, ill. óceánra jellemző viszonylagos helyi magasságát (60—80 km) nem tudtuk magyarázni. Magát aényt azonban — a kéregalj hipotetikus, anomálishan nagy hőmérsékletével együtt — a medence gravitációs erőteréből hiányzó 100—150 milligal magyarázatára felhasználtuk.

A negyedik hiányosság az volt, hogy a dunántúli, ill. általában az epikontinántá-lisnak minősített felső kréta és paleogén kevésbé illeszkedett a képhe. Nem gyengítette az érvelést, mert a felső kréta fácies a Dunántúlon is lényegesen különbözik az alsó krétától és az alsó-felső kréta határ diszkordáns. A Dunántúlon azonban a felső kréta-paleogén határ az élesebb, és a felső kréta-paleogén összletek nem medence-üledék-összletek (in sensu stricto), hanem inkább táblás, epi-alpin jellegű fáciesűek.

A lényegesebb új adatok

Amint említettük, 1970-ben befejezték a VI. nemzetközi szeizmikus kéregkutató szelvény mérését és az V. szelvény munkálatai is lényegében véget értek (*Nemzetközi*

Munkaközösség, 1971). A teljes jelenlegi nemzetközi szelvényhálózatot a 4. ábra mutatja. A Kárpát-rendszert harántoló legújabb szelvények ismertetését — a történeti sorrend kedvéért — a VI. szelvénytől kezdjük (5. ábra).



4. ábra. A nemzetközi kéregkutató szeizmikus szelvényhálózat

1. Balti-tenger; 2. Adriai-tenger; 3. Fekete-tenger; 4. Német Dem. Közt.; 5. Lengyelország;
6. Szovjetunió; 7. Csehszlovákia; 8. Ausztria; 9. Magyarország; 10. Jugoszlávia;
11. Románia; 12. Bulgária

Fig. 4 Location map of international DSS profiles

———— international DSS profiles
- - - - - national DSS profiles

- 1 Baltic sea; 2 Adriatic sea; 3 Black sea; 4 German Dem. Rep.; 5 Poland; 6 USSR; 7 Czecho-
slovakia; 8 Austria; 9 Hungary; 10 Yugoslavia; 11 Roumania; 12 Bulgaria

Рис. 4. План профилей ГСЗ

———— международные профили ГСЗ
- - - - - национальные профили ГСЗ

- 1 — Балтийское море; 2 — Адриатическое море; 3 — Черное море; 4 — ГДР; 5 — Польша;
6 — УССР; 7 — Чехословакия; 8 — Австрия; 9 — Венгрия; 10 — Югославия; 11 — Румыния;
12 — Болгария

A VI. szelvény az NDK-ban a 29—30 km vastag kérgű Thüringiai medencében indul. Zwickaunál variszkuszi maradványokra fut, ahol a kéreg vastagodni kezd, majd a cseh határ keresztezése után a 40—48 km vastag kérgű Cseh masszívumot harántolja. A kárpáti „előszülledékben” és a „flis-Kárpátokban”, amelyek itt a világ legkeskenyebb ilyen tektonikai egységeit képviselik (?), a kéreg vastagsága hirtelen ismét 30 km-re csökken. A Bécsi-medence, majd egy ugyancsak különösen keskeny belső típusú kárpáti sáv: a Kis-Kárpátok harántolása után, a szelvény takart Kárpát-medence területre ér.

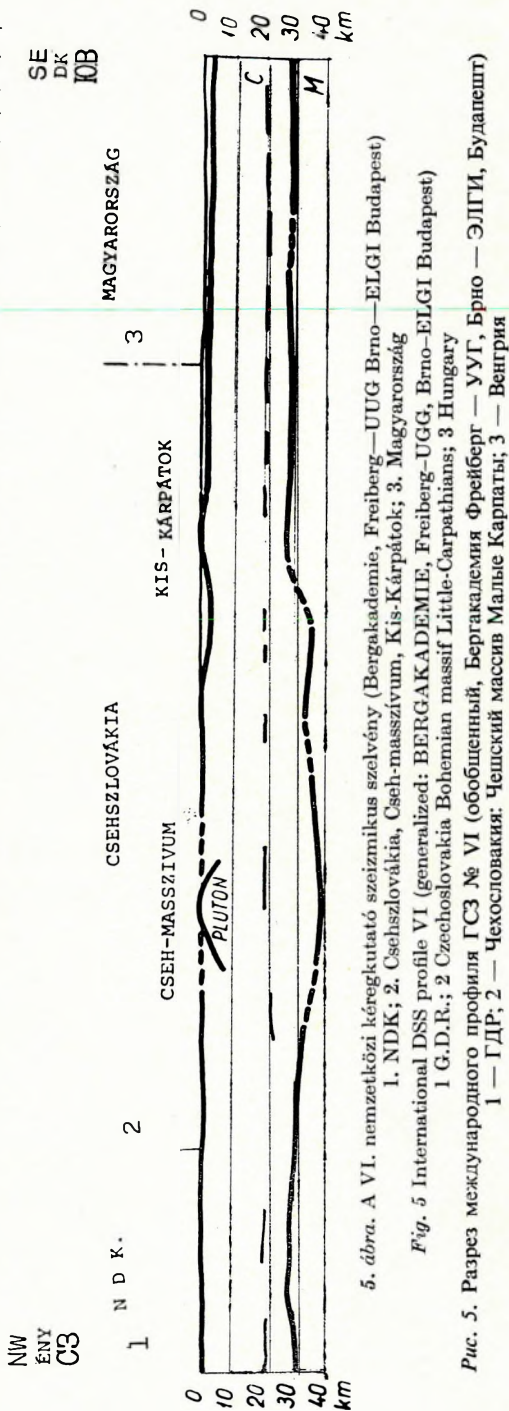
A kéreg vastagsága a Kis-Kárpátok alatt sem haladja meg a 30 km-t; később pedig ezt az értéket már el sem éri. Letkésnél átlépi a magyar határt és csaknem a román határig 25—27 km vastagságú kérgen fut.

Az idézett mű a Bécsi-medencében végzett kőolajkutató szeizmikus mérésekre is hivatkozik. Ezeknek eredményei szerint a Cseh masszívum egy ÉNY—DK csapású gerinccel áthúzódik a Bécsi-medence alaphegységébe. A cseh kutatók feltételezik, hogy ez a gerinc a felső krétában, sőt esetleg még később is — a paleogénben — üledék-képződési elválasztó gát volt a tőle ÉK-re, ill. DNy-ra levő területek között.

Minthogy a flis-Kárpátok üledék-képződése a felső krétában kezdődött, valószínű, hogy az alpi flis és a kárpáti flis üledékgyűjtő medencéje nem mindig és nem mindenhol függött össze.

Az említett kristályos gát az Alpokat a Kárpátokkal összekötő rendkívül keskeny flis-sávot kétessé teszi, de elégséges az állítást úgy megfogalmazni, hogy a két hegység között összeföldrajzi kapcsolat legfeljebb szakaszosan lehetett. Tektonikai kapcsolatot, az itteni flis-sáv vékony, ill. normális kérgé miatt, nem kell feltételezni.

A VI. nemzetközi szelvény tehát bebizonyította, hogy ahol az előszüllye-



5. ábra. A VI. nemzetközi kéregkutató szeizmikus szelvény (Bergakademie, Freiberg—UGG Brno—ELGI Budapest)

1. NDK; 2. Csehszlovákia, Cseh-masszívum, Kis-Kárpátok; 3. Magyarország

1 G.D.R.; 2 Czechoslovakia Bohemian massif Little-Carpathians; 3 Hungary

Рис. 5. Разрез международного профиля ГС № VI (обобщенный, Бергакадемия Фрейберг — УУГ, Брно — ЭЛГИ, Булапешт)

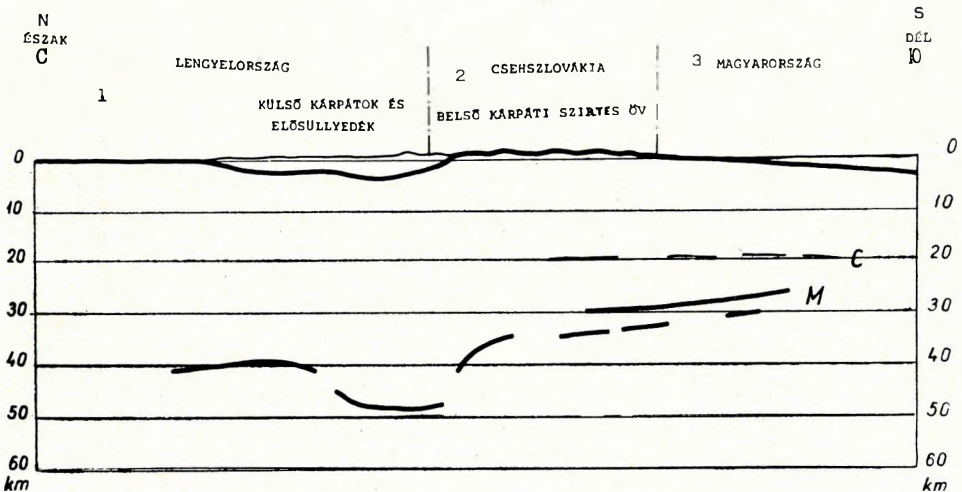
1 — ГДР; 2 — Чехословакия; Чешский массив Малые Карпаты; 3 — Венгрия

déket, a flis-Kárpátokat és a belső típusú Kis-Kárpátokat harántolja, a kéreg normális vastagságú. Ezzel — véleményünk szerint — azt is bebizonyította, hogy az Alpok és a Kárpátok között közvetlen tektonikai kapcsolat nincs.

*

Az V. nemzetközi szelvény (6. ábra) Lengyelországban, a kb. 40 km kéregvastagságú Podóliai táblán indul. Keresztezi a flis-Kárpátokat, ahol a kéreg vastagsága hirtelen 48 km-re növekszik. Ezután ráfut a Belső-Kárpátok ún. „szirtes övére”. A kéreg vastagsága itt egy meredek, 13 km-es (!) Moho emelkedéssel 35 km-re, majd egyenletesen emelkedve 30 km-re csökken. Ennél mélyebbre a Moho már nem is süllyed. A takart medenceterületen, a Tiszafürednél végződő szelvény már csak 27 km Moho mélységet mutat.

Érdekes ennek a csehszlovák területen levő 18 km-es emelkedésnek a csehszlovák kutatók által javasolt értelmezése (BERÁNEK, in: *Nemzetközi Munkaközösség*, 1971). A csehszlovák kutatók ezt a nagy szintkülönbséget vetőnek értelmezik. Ezzel nem értünk egyet, mert a geoszinklinális kéregbehajlását elsősorban plasztikus deformációnak tulajdonítjuk. Itt azonban most nem ez a lényeges, hanem maga a szintkülönbség, amelyet a továbbiakban — az egyszerűség kedvéért — magunk is „vetőnek” nevezünk, idézőjellel érzelgetve a véleménykülönbséget.



6. ábra. Az V. nemzetközi kéregkutató szeizmikus szelvény (IGPAN Warszawa—UUG Brno—ELGI Budapest)

1. Lengyelország, Külső-Kárpátok és elősüllyedék; 2. Csehszlovákia, Belső-kárpáti szirtes öv; 3. Magyarország

Fig. 6 International DSS profile V

(generalized, IGPAN, Warsaw—UUG, Brno—ELGI, Budapest)

- 1 Poland Outer Carpathians and foredeep; 2 Czechoslovakia Inner Carpathians cliff-belt; 3 Hungary

Рис. 6. Разрез международного профиля ГСЗ № V (обобщенный, ИГПАН, Варшава — УУГ Брно — ЭЛГИ, Будапешт)

- 1 — Польша — Внешние Карпаты и передовой прогиб; 2 — Чехословакия — Внутренние Карпаты скалистая зона; 3 — Венгрия

Az értelmezés lényege, a „vető” korrelációja. A legtermészetesebb törekvés ezt a „vetőt” a III. és VI. szelvény *tektonikailag azonos helyzetű* hasonló formalelemével — „vetőjével” — korrelálni.

Ez a „vető” — amint említettük — az V. szelvényben a flis-öv és a „szirtes-öv” kéregszakaszát osztja meg. A VI. szelvényben azonban a „flis-öv” és „szirtes-öv” kéregszakaszának határán „vető” nincs. A VI. szelvényben tehát a csehszlovák kutatók tektonikailag azonos helyzetűnek azt a „vetőt” tekintik, amellyel a Moho a „flis-öv” alatt, vagyis a Cseh masszívum és a „flis-öv” határán, hirtelen felemelkedik.

Ez a korreláció nyilvánvalóan helytelen lenne, ha a „flis-öv” és a „szirtes-öv” határán *is* találhatnánk „vetőt”. Ott azonban nem találunk. A természet tehát mintegy tereli a korrelációt az egyetlen lehetséges irányba: a vastagabb kérgű Cseh masszívum határához.

Ilyen értelemben a két „vető” tektonikailag valóban *azonos helyzetű*. Az V. szelvény mentén a 18 km-es nagy „kéregvető” a Kárpátok (a flis-Kárpátok) és a Kárpát-medence határa. Nyilvánvaló, hogy a VI. szelvényben a Cseh masszívum a Kárpát-medence határa.

Javasolunk egy földtani és tektonikai revíziót, mert kéregszerkezetiileg világos, hogy minden, ami a Cseh masszívumtól DK-re van, a Kárpát-medencéhez tartozik. Az „elősüllyedék”, a „flis-öv”, a Bécsi-medence „molassza” a Kárpát-medence medenceüledékköszletéhez tartozik, a Kis-Kárpátok pedig a Kárpát-medence felszínén levő medencealjzata. A csehszlovák kutatók értelmezése, a „vető” korrelációja, tehát teljesen logikus.

A régi Kárpát-medence modell mindezt nem tartalmazhatta. Akkoriban (1969) a „flis-övet” kritika nélkül elfogadtuk flis-övek és kéregvastagságát a VI. szelvény tájképnél is ugyanolyan nagyknak tételeztük fel, mint a III. szelvényben (ill. amilyenek az V. szelvényben is bizonyult).

Az ÉNy-i „flis-öv” viszonylag vékony, vagyis normális vastagságú kéreg, mint adat új és meglepő, de mit sem változtat azon a tényen, hogy a vékony kérgű medencének ÉNy-on is vastag kérgű kerete van: a Cseh masszívum.

Ugyancsak nagyon érdekes az V. és III. szelvény korrelációja. Az V. szelvény hatalmas kéregalji „vetőjét” a csehszlovák kutatók a III. szelvénynek azzal a kéregalji nagy „vetőjével” korrelálják, amely (idézve:) „a vastag kérgű Kárpátokat a Pannóniai bloktól elválasztja.”

Az idézett szövegrész két szempontból is bírálható. Az egyik, hogy csak „Kárpátokat” említ, holott a szelvény mutatja, hogy a kéreg a *flis-Kárpátok* alatt vastag, és *belső* típusú Kárpátokat a felszínen, azon a helyen, nem is találunk. A másik bírálható fogalom a „Pannóniai blokk”. Éppen a szeizmikus kéregkutatások mutatták ki, hogy nem beszélhetünk „Pannóniai blokkról”, mert ebben a fogalomban a „köztes tömeg” szelleme kísért. Ezt a vékony kérgű medencét egyszerűen Kárpát-medencének nevezzük.*

Mindez azonban nem változtat azon a tényen, hogy az V. szelvény „szirtes öve” a III. szelvényben eltakart preusztriai medencealjzat, és a Kárpát-medence határa ezen a helyen a flis-övnél van, éppen úgy, mint az V. szelvényben.

A korábbiak után már alig kell hangsúlyozni, hogy az V. szelvény „szirtes öve” is a Kárpát-medence felszínén levő preusztriai aljzata.

* A kéregmonográfia Magyarországon megjelent angol nyelvű változata (*Nemzetközi Munkaközösség*, 1971) a fogalmat már helyesen használja. Az egyidejűleg megjelent német nyelvű (Freiberg) és orosz nyelvű (Kiev) változatokban azonban az eredeti, idézett kifejezés megmaradt.

Igen lényeges, noha újdonságnak nem számító adata a szóban forgó két szelvénynek, hogy a kettős Moho-t a medenceterületen mindkettő kimutatta. Ezt a jelenséget, amint a 3. ábra is tanúsítja, a magyar kutatók már korábban felismerték (MITUCH, 1968). Jelen szerző is hivatkozott erre az érdekes jelenségre, idézett tanulmányában (1969): „Ennek oka például a kéregalj fázisátmenet egy különleges stádiuma lehet: az új határfelület már létezik, de teljesen még a régi sem tűnt el. Lehet viszont egy egyszerű fizikai, hőmérsékleti rétegződés”.

Az V. és VI. szelvény megerősítette, hogy sem a kettős Moho, sem pedig váltakozó természete (vagyis hogy hol az alsó, hol pedig a felső az erősebb) nem hazai specialitás, nem is műszerzaj, hanem tény.

A kettős Moho váltakozó természete amellet szól, hogy a Moho termodinamikai fázisátmenet.

A kéreg valóban nem csak úgy vékonyodhatik el, hogy alja formálisan elolvad és mint vulkáni anyag a felszínre ömlik. Fizikailag ugyanerre az eredményre jutunk akkor is, ha a Moho egyszerűen feljebb csúszik. Az izosztázia ezt éppen úgy tudomásul veszi, mint ha a köpenyterület azért emelkedett volna feljebb, hogy a felszínre ömlő kéregalj helyét betöltse.

Lehetséges továbbá, hogy azt a termodinamikai hatást, amely a Moho-t mint fázisátmenet-határt feljebb tolta, éppen a kéregalj zárt kupolájának különlegesen nagy hőmérséklete idézte elő.

A túlemegegedett, túlnyomásos kéregalj más oldalról is védhető. Sem a szakaszosan megújuló vulkanizmust, sem pedig a Kárpát-medence vulkánitokban való rendkívüli gazdagságát nem lehet tagadni.

A modell ilyen szerkezete mellett azonban már nem kell „hiányzó” kéregalj anyaggal elszámolni. A kéreg aljából csak annyit jött a felszínre, amennyit volumetrikusan könnyen igazolhatunk. A kéreg aljának többi része köpenyfelület alakult át.

Ugyancsak felesleges konvekciós áramkörök feltételezése a kéregalj „elszállítására” (STEGENA, 1967). Erre azonban később részletesebben visszatérünk.

*

A VI. szelvény egyik érdekes eredménye, hogy a gránitból és különféle metamorfittokból álló ún. *Cseh pluton* (5. ábra) a felszínen is 6,1 km/sec szeizmikus sebességű. A szeizmikus sebesség és a hullám-korreláció arra utal, hogy a kéreg ún. gránitöve a Cseh plutonban a felszínre emelkedik.

A szakirodalomban a kéreg ún. gránitövét és a kristályos alaphegységet általában megkülönböztetik, mert a kristályos alaphegység ennél valamivel kisebb sebességű és a kb. 6,0 km/sec határsebességű „gránitöv” mélysége az alaphegységénél rendszerint nagyobb.

Az ún. gránitövhöz nem tudunk földtani értelmet rendelni. A szovjet szerzők (pl. SOLLOGUB—SUBBOTIN, 1967) többnyire II. alaphegységnek nevezik.

A 6,0 km/sec körüli sebesség nem a gránit sebessége. A gránit sebessége (4,5—5,5 km/sec) ritkán éri el az átalakult és a tömött üledékes kőzetek sebességét.

A felszínen levő, 6,1 km/sec sebességű Cseh pluton az ellentmondásokat látszólag szaporítja. Valójában megoldja. A levonható következtetések a következők.

Az ún. gránitöv nyilvánvalóan nem kőzettani értelemben vett gránitból áll, hanem egy nem ultrabázisos, szilikátos átalakult kőzetkomplexus. A gránitot, mint kőzetet, az átalakult kőzetektől nem szabad élesen megkülönböztetni. A plutonok nem az orogenezis alkalmával és nem intrúzióval kerülnek a felszínre vagy felszín-

közélbe, hanem a kéreg „gránitövének” némelyik kisebb sűrűségű része a nagyobb sűrűségű környezetből „felúszik”, mint egy sódiapir. A Cseh pluton is csak így tudhatott — régi környezetének szeizmikus sebességét megtartva — a felszínre kerülni.

A Kárpát-rendszernek az újabb adatokkal korrigált modellje

A régi modell és az új adatok egybevetését az olvasóra is bízhatnánk. Azért foglaljuk mégis össze a korrigált új modellt, hogy egységben láthassuk, mielőtt nagytettonikai háttérbe helyezzük.

A Kárpát-medence minden oldalról vastag (vagy legalábbis normális) kérgű hegységekkel körülvett, vékony kérgű, zárt, fiatal süllyedék. A körülvevő hegységek részben geoszinclinális eredetű lánchegységek: az Alpok, a (rendhagyó) flis-Kárpátok és a Dinaridák. Nem lánchegység jellegűek: a Cseh masszívum és a Déli-Kárpátok.

A keretező hegységek délen — a Duna völgyében — látszólag nem zárnak. A felszínen a medence itt keskeny sávban nyitott. A kéregben azonban délen is teljes a zártság, mert a Belgrádtól DDK-re felszínen levő kristályos rögök sejtetik, hogy a kéreg vastagsága itt is legalább normális.

A Kárpát-medence kérgének átlagos vastagsága 26 km. A keretező hegységek (ill. egyéb tektonikai elemek) kérgének legkisebb vastagsága 35 km. A kéreg alja tehát olyan zárt *kupolát* alkot, amelynek domborulati magassága legalább 10 km.

Ez a kupola — feltételezve, hogy a köpeny—kéreg határon a hővezető képesség gradiense hirtelen csökken — a bárhonnan odajutó földi hőt akkumulálja. Ennek következtében a kéreg alján a hőmérséklet meghaladja a szilikátos kőzetek olvadáspontját, és egy latensen olvadt túlnyomásos állapot jön létre, amely a Moho diszkontinuitást, mint termodinamikus fázisátmenet-határt feljebb tolja.

A kéreg ezáltal alulról elvékonyodik, felül pedig medenceszerűen besüllyed, hogy az új tömegeloszlásnak megfelelő izosztatikussá kompenzációt elérje.

A süllyedékbe főleg klasztikus üledékes kőzetek és az egész folyamatot kísérő (pontosabban: a folyamat egyes szakaszait megelőző) vulkanizmus termékei rakódnak le.

A folyamat akkor kezdődik, amikor a keret a teljes bezáruláshoz közeledik, vagyis amikor a flis-Kárpátok kérgé megkezdik a behajlást és az üledékgyűjtést.

Az első mozzanat az alsó kréta végéhez rendelhető és a bazaltömlésekkel részben le is vezetődik. A rendkívül lassan vándorló hó csak szakaszosan teremt olyan túlnyomást, hogy ez a jelenség megismétlődjék.

A miocén végére azonban olyan túlnyomás jön létre, hogy a korábbi diszjunktív hatásoknak (a kárpáti kéreg besüllyedései megnyúlásának) kitett, meggyengült medencebéli kéreg törésein át különösen nagy mennyiségű láva és piroklasztikum tör a felszínre. Érdemes megjegyezni, hogy a feltörő anyag egyrészt savanyú vagy legfeljebb neutrális, másrészt heves kitörésre utal (ignimbrit, ártufa). Ez megerősíti a felgyülemelő és hirtelen levezetődő túlnyomás koncepcióját és nyilvánvalóvá teszi, hogy a kiömlő anyag a köpenyből nem jöhet. A kéreg aljáról kell jönnie, de ne felejtjük, hogy a viszonylag savanyú „gránitöv” a medencében nagyon vastag (20 km), tehát ha a kiömlő anyag nem is abból jön, azon keresztül hosszú utat tesz meg.

A kéreg termodinamikus vékonyodása és a kísérő vulkáni tevékenység együttes működése következtében megindul, ill. meggyorsul a felszín besüllyedése: a medenceképződés. Az izosztázia ezt megköveteli.

A besüllyedés nem egyenletesen történik, mert a kéreg alján a Moho sem a nívó-felülettel párhuzamosan helyezkedett el. Ennek a ténynek az oka ismeretlen, de meglepő az lenne, ha a Moho teljesen *sima* volna.

Ahol a Moho lejjebb maradt, ott a preausztriai felszín nem, vagy csak kevésbé süllyed le. Az izosztázia ezt *így* követeli meg. A mechanikai *lehetőséget* pedig az biztosítja, hogy a húzásnak kitett kéregben hatalmas törések vannak; a nagyobb tömbök ezek mentén önállóan mozognak és egyénileg foglalnak el izosztatikus egyensúlyi helyzetet (lásd a preausztriai aljzat és a Moho antikorrrelációját).

Az izosztatikus egyensúlyra való törekvés valójában oszcillálás. Az egyensúlyi állapotán *tehetetlenségénél* fogva „túlszaladó” tömb izosztatikus előjelet vált, és lassan lecsengve addig oszcillálgat, amíg végül is megáll.

Az oszcilláló mozgás tengelye nem pontosan vertikális. Magyarán szólva: az oszcilláló tömbök billegnek. A neogén összetben az oszcillálás és billegés miatt apró diszkordanciák vannak. A fáciesek gyors szeszélyes vertikális és horizontális változásának: a lencsés textúrának ugyanez az oka.

A mély süllyedések peremén a fennmaradt preausztriai tömb támaszték nélkül marad. Ezért szélső rögével a süllyedekre gravitációsan ráhajlik. Így jönnek létre a harmadidőszaki *diszjunkatív pikkelyek*.

A pikkelyeket, vagy ha úgy tetszik: inverz vetőket, az irodalom kompressziós eredetűnek vallja. Ez a szemlélet egyoldalú. A Kárpát-medencében, ahol maga a medenceképződés húzófeszültségekre utal, *posztausztriai* pikkelyek szinte kizárólag a leírt módon keletkeztek.

Az ilyen pikkelyek „vergenciáját” mindig a legnagyobb szomszédos süllyedék orientálja, a billenő rögot mintegy magára húzva.

A „vergencia” szót azért tettük idézőjelbe, mert noha medencénk tektonikai irodalmában e kifejezéssel gyakran találkozunk, úgy véljük, hogy ez a lánchegységi fogalom medencebeli egységekbe sem tektonikailag, sem pedig a méretek miatt nem alkalmazható.

Maga a jelenség, az egészen más vezérlésű lánchegységi redőződésnél fellépő *lehajlásra* és *csúszásra* egyébként valóban emlékeztet. A lánchegységekben is a gravitáció hatására „folynak le” a túlemelkedett kőzetek. Ott azonban a folyamat lassúbb, a dimenziók nagyobbak, és a kőzetek változatosabbak (több esély van a kompetens közbetelepülésekre). A plasztikus folyást mindezek a tényezők megkönnyítik.

A preausztriai medencealjzatban — mind felszínen levő, mind pedig eltakart részeiben — bizonyára szép számmal vannak ma még ismeretlen billent pikkelyek.

Ha elfogadjuk azt a szemléletet, hogy a Kárpátokban kizárólag a flis vonulat mutat valamelyest geoszinklinálásra valló, ill. lánchegységi ismérveket, akkor ennek a kiemelkedéshez kapcsolódó vulkanizmusát a belső, miocén vulkán sor képviseli.

Ezzel csaknem pontosan egyidejű, sőt fáciesben is hasonló a már többször említett medencebeli vulkanizmus. Tektonikailag azonban csak annyi közülük van egymáshoz, hogy a kéreg alján valószínűleg rokon folyamat hozta mindkettőt működésbe.

A Kárpát-medence g szintje 100—150 milligallal alacsonyabb, mint a kéreg szerkezet konfigurációjából következne. Ezt azonban a felmelegedett kéregalj és — esetleg — az anomálishan (?) magasan levő Gutenberg-csatorna megmagyarázza.

Az előzőkből világos, hogy a Kárpát-medence kérgének alján a földtörténeti közelmúltban, de még ma is, nagyobb hőmérsékletet kell feltételeznünk, mint ott normális körülmények között lennie kellene. Ez a többlethő valószínűleg részben

a köpenyből áramló földi hő konduktív eredetű *helyi* akkumulációja, részben pedig a környező geoszinklinálisokban lezajlott plasztikus deformáció és a kivastagodott „gránitöv” radioaktív hőtermelésének a terméke.

A medence kérgében is viszonylag vastag a „gránitöv”, noha ez a kéreg aljának hőmérsékletét alig befolyásolhatja. Befolyásolhatja ellenben a felette levő kéregrészt — pl. a sülyvedék — hőháztartását.

Mindezzel kapcsolatban fenntartjuk a régi modell ismertetésénél (1969) kifejtett álláspontunkat. Kétséges, hogy ezt a lokális jellegű extrahót a földi hőáram anomáliájának szabad-e tekinteni. Kétséges — bár nagyon valószínű —, hogy ez az extrahó a medenceüledék-összlet hőháztartását befolyásolhatja. Kétségtelen ellenben, hogy a *konduktív* hőátadás kifejezéseit (hőfluxus, hővezető képesség, geotermikus gradiens) ebben a medencében — ahol a cirkuláló meleg vizek miatt a *konvektív* hőszállítás uralkodik — meghatározni nem lehet.

Nem ismerjük pontosan, hogy a cirkuláló víz a mélyben normálisan vagy abnormálisan melegszik-e fel. A medenceüledék-összlet kőzetanyaga, szemcseösszetétele és a hőmérsékleti paraméterek meghatározásának inadequat módja azonban még akkor sem engedne meg konduktív megfontolásokat, ha a konvekció eleve nem zárná ki ezeket.

*

Már csak ismétlés annak hangsúlyozása, hogy a Kárpát-medence — jelenlegi ismereteink szerint — önálló, páratlan szerkezeti elem. Nem „köztes tömeg”, nem intramontán medence, hanem egy sajátos, zárt, fiatal sülyvedék. Amíg kialakulásának mélyebb okát meg nem ismerjük, létrejöttét természeti véletlennek kell tekintenünk.

A megoldatlan problémák

Úgy véljük, hogy az ismertetett geofizikai-földtani modell a Kárpát-rendszert jelenségeiben jól közelíti. Ha a mélyen fekvő, létrehozó, endogén okokat nem kutatjuk, tulajdonképpen alig van megmagyarázatlan jelenség.

A megmagyarázatlan jelenségek közül elsősorban a Gutenberg-csatorna sajátos helyzetét kell tárgyalnunk. Addig is, amíg a következő fejezetekben a Gutenberg-csatornával részletesen foglalkozunk, a csatorna sajátos helyzetének pusztá tényére felajánlunk egy egyszerű magyarázatot.

Feltételezzük, hogy minden felszíni tektonikai „hullámnak” — pl. egy lánchegységnek — a kéreg alján egy hosszabb hullám felel meg. Ha pedig a felszíni tektonikai jelenséget a köpenyből származtatjuk, akkor minél mélyebbre hatolunk a köpenybe, ugyanannak a felszíni „hullámnak” annál hosszabb „köpenyhullám” kell hogy megfeleljen.

Nem tudjuk pontosan, hogy a Gutenberg-csatorna a lánchegységek alatt miért van magasan. Tény azonban, hogy magasan van. Ennek a ténynek a magyarázatát majd a következő fejezetekben próbáljuk megközelíteni.

Egyelőre fogadjuk el a tényt és mérlegeljük kizárólag a Kárpát-medence szempontjából. Tételizzük fel, hogy egy kb. 200 km szélességű lánchegységnek a Gutenberg-csatorna mélységében egy jóval szélesebb csatornadomborulat felel meg. Két lánchegység ezt a hosszú „köpenyhullámot” kétszer kívánja meg. Tételizzük fel továbbá, hogy mind a Dinaridáknak, mind pedig a Kárpátoknak — valamilyen okból — külön csatornadomborulata van (ha közös, annál jobb).

A Kárpátok és Dinaridák között azonban nincs akkora távolság, hogy a medence

alatt két csatornadomborulat elférjen. A két domborulat nyilván összeér és valószínűleg sohasem tudjuk majd meg, hogy a Dinaridáké hol végződik, a Kárpátoké pedig hol kezdődik.

A Kárpát-medencében végzett magnetotellurikus mélyszondázások azt tanúsítják (ÁDÁM, 1968a), hogy a Gutenberg-csatornával azonosítható „jól vezető réteg” mélysége 60—80 km. Ez a mélység nagyjából egybevág az óceáni litoszféralemez alsó határával, amely lemez BULLARD (1969) szerint egy olvadtnak tekinthető övön, az ún. asztenoszféraán úszik és az *ocean floor spreading* következtében vízszintesen mozog.

Itt azonban már elérkeztünk ennek a tanulmánynak a valódi céljához, a modern geotektonikai elméletek vizsgálatához, amihez a Kárpát-rendszer elemzése csak kritériumnak volt szükséges.

Mielőtt azonban erre rátérnénk, próbáljunk megbirkózni a Déli-Kárpátokkal, hogy a hátunkban minél kevesebb rejtéllyel haladhassunk tovább.

*

A Déli-Kárpátok prekambriumi és ópaleozóos metamorfitokból állanak. A gránitokat is a metamorfitokhoz soroljuk. A Déli-Kárpátoknak alpi eleme — rétegtani értelemben — gyakorlatilag nincs.

Bármekkora lepusztulást tételezünk fel, egy alpi lánchegység kizárólag prevariszkuszi és variszkuszi elemekből nem állhat.

A Déli-Kárpátok északi pereme hirtelen süllyed le az Erdélyi medence neogénje alá. A vonulat Bouguer-anomáliaszintje pozitív vagy semleges (CIOCARDEL—ESCA, 1966), tehát kérge nem lánchegységi, hanem kb. normális vastagságú.

Ebből könnyen levonhatnánk a következtetést, hogy a Déli-Kárpátok vonulata is felszínen levő medencealjzat. De hogyan kerül déli előtérébe egy lánchegység nélküli elősüllyedék?

Az idézett román szerzők szerint az „elősüllyedéssel” eléggé jelentékeny, összefüggő Bouguer-minimumsáv esik egybe. Ebből feltételezhetjük, hogy az „elősüllyedék” kérge viszonylag vastag; vastagabb, mint maga a Déli-Kárpátok kérge.

Tektonikailag ez a kép teljesen érthetetlen. Szinte azt a benyomást kelti, hogy mivel a Déli-Kárpátok vonulata a nagy klasszikus osztozkodáskor „alpi típusú lánchegység” minősítést kapott, bármi van is déli előtérében, annak elősüllyedéknek kell lennie, mert egy rendes lánchegységhez elősüllyedéknek *kell* tartoznia.

Itt is egy geofizikára alapozott földtani és tektonikai újvizsgálatot javasolunk. Ez az „elősüllyedék” ugyanis valószínűleg nem más, mint a Moesia-i tábla 1—2 ezer m vastag harmadidőszaki üledékes kőzetekkel fedett, kissé vastagabb kergű része.

A geotektonikai hipotézisek lélektana

A geotektonikai hipotéziseknek van egy sajátos — mondhatni történelmi — háttere.

A földtan szinte annyi idő, mint az emberiség (bizonyára már az ősember is tett különbséget kovakő-lelőhelyek között, de a tudatos és tudományoszerűen művelt földtan is jó néhány évszázadra tekinthet vissza.

A tudatos és tudományoszerűen művelt geofizika viszont alig több mint fél évszázados (az ELGI, 1969-ben emlékezett meg alapítója, Eötvös Loránd halálának ötvenéves évfordulójáról). A modern, jól műszerezett, nagy felbontóképességű és mély behatolású geofizika pedig mindössze 20—25 éves.

Amikor a geofizika színre lépett, a földtan már kialakult fogalomtárral rendelkezett. Az első geofizikai-tektonikai értelmezések akarva-akaratlanul a meglévő földtani hipotézisek valamelyikének igazolására törekedtek. A mérési adatok szegényesége és a geofizikusok földtani ismerethiánya mást nem is engedett meg.

A geofizika *legújabb* fejlődése azonban rohamos volt. Egy-egy szervezett kampány (pl. az NGÉ) alkalmával a feldolgozó központokat adattömegek árasztották el. Eddig elképzelhetetlen mélységekből (és magasságokból) kaptunk információkat: a geofizika a tektonikában átvette a vezető, sőt a vezérlő szerepet.

Ekkor azonban egyrészt szemben találta magát a régen kialakult, szinte megkövesedett földtani hipotézisekkel, másrészt a földtani ismeretanyag adaptálása a műszerezettséggel nem arányosan fejlődött.

A hipotéziseket még ma is két csoportra lehet osztani aszerint, hogy a problematikát földtani vagy geofizikai oldalról közelítik-e meg.

A polarizált földtani megközelítést az jellemzi, hogy teljesen a régi fogalomtárra támaszkodik. Ámultan és értetlenül hallgatja a geofizikai „tolvajnyelvet”; legfeljebb dekorációként használja. Periódustartomány, sebességinvertzió, határstabilitás stb., és ezek számértékei semmit sem mondanak a „klasszikus iskolának”, holott — adott körülmények között — ezek a *Föld* fizikai paraméterei és eloszlásuk a *Föld* szerkezetétől függ.

A polarizált geofizikai megközelítést pedig úgy lehet jellemezni, hogy a Föld ismeretében alig haladja meg a hegy- és vízrajzi térképek információtartalmát. A polarizált geofizika földtanilag nem differenciál: a hegység az hegység és a síkság az síkság.

A két megközelítési mód csak az eredménytelenségben találkozik.

Ha mindebben van is egy kis enyhén ironikus túlzás, tény, hogy a földtan és geofizikai egysége a geotektonikában és az alkalmazott szinten egyaránt még sokat fejlődhetik.

*

Már említettük, hogy valamennyi geotektonikai hipotézis azon méri le és azzal hirdeti saját érvényeit, hogy a geoszinklinális mechanizmust és az orogenezist magyarázni képes. A hipotézisek nagyobb részét éppen az erre való törekvés hozta létre.

A hipotézisek lélektanához tartozik az is, hogy az ajánlott magyarázat általános érvényű; időben és térben a Föld valamennyi lánchegységének magyarázatát vindikálja. Ebből következik, hogy a hipotézisek nem tesznek — nem is tehetnek — különbséget lánchegység és lánchegység között.

A lánchegységek születése valóban rejtély. A lánchegység pusztá léte, morfológiájával, szerkezetével és geofizikai paramétereivel, a geofizikus leggrandiózussabb élménye.

A rejtély magyarázata annyira csábító, hogy még azok a hipotézisek sem tudják e hatás ereje alól magukat kivonni, amelyeknél az orogenezis magyarázata nem is volna lényeges. Példa erre a Föld tágulásának hipotézise (pl. EGYED, 1956), amelynek inkább kozmogóniai, mint kéregszerkezeti implikációi vannak.

Az orogenezis magyarázata egyébként valóban lényeges kritériuma a geotektonikai hipotéziseknek. Amelyik ezt a jelenséget differenciáltan meg tudná magyarázni, annak apró részletekkel nem is kellene törődni.

Ha viszont eljutunk arra a felismerésre, hogy a lánchegységek genetikusan különfélék, akkor egy-egy hipotézist elfogadhatóvá tesz, ha egyik vagy másik rendszert magyarázni képes (csak általános érvényt ne vindikáljon magának).

A kontinensperemi — főleg a cirkumpacifikus — lánchegységrendszert mindenestre önálló típusnak kell minősítenünk. Olyan hipotézisekkel tehát, amelyek ezt választják kritériumnak, érdemes foglalkoznunk. Már csak azért is érdemes, mert elemzésük közben megtudjuk, hogy mennyit és hogyan érdemes belőlük felhasználni *teszt*-modellünk, a Kárpát-rendszer származtatására.

A tágulási elméleten kívül csak a kontrakcionizmus elméletcsoportja foglalkozik a Föld sugarának változásával. A kontrakcionizmus születése óta nagyot változott. Az első, egyszerű ráncolódásos felfogást napjainkban sokkal differenciáltabb elméletcsoport váltotta fel, és még ma is neves kutatók — pl. Runcorn, de Sitter stb. — vallják magukénak ezt a felfogást.

Csak éppen megemlítjük, hogy olyan felfogások is vannak, amelyek a tágulást és összehúzódást a Föld különböző korszakaiban váltakozva szerepeltetik.

Ebben a tanulmányban nem szükséges állást foglalnunk bármelyik földszághipotézis mellett. A számunkra érdekes és egyben legmodernebb geotektonikai hipotézisek nem sokat törődnek azzal, hogy a Föld tágul-e vagy zsugorodik. Akár kompresszióval, akár dilatációval számolnak, amikor a közvetlen mechanizmust tárgyalják, a geoszinklinális-képződés és az orogenezis okát a köpenybe helyezik.

Nem szorul bizonyításra, hogy a kéreg szerkezeti változásai a köpenyből vezérlődnek, még akkor is, ha a kéregnek felszíni eseményekre (pl. erózió) kell passzívan reagálnia.

A kontrakcionista DE SITTER (1967) a főbb elméletekről kimutatást készített. A kimutatást aszerint csoportosította, hogy melyik tud az ismeretlen okú jelenségek-ből többet megmagyarázni, ill. hogy a szükséges fizikai követelményekből melyik elégíti ki többet. Táblázatában egy kalap alá vette a kozmogóniai jellegű (földszágh-) elméleteket a köpenymechanizmusra alapozó elméletekkel és a rejtélyes jelenségeket nem súlyozta. Ilyen alapon marasztalja el például a tágulós elméletet, holott annak nem lényeges kritériuma az orogenezis magyarázata. Igaz, hogy ebben a tágulós elmélet maga is hibás, mert nem kellett volna ezt vindikálnia magának.

A geoszinklinális mechanizmust magyarázni törekvő kutatók — legalábbis hallgatólagosan — mindig arra a megállapításra jutnak, hogy az általuk javasolt modell általános érvényű. Semmi esetre sem hangsúlyozzák, hogy a javasolt modell csak erre vagy pedig csak amarra a lánchegységre érvényes. Ebből pedig az következik, hogy elvileg azonos mechanizmust kell feltételezni térben az alpi és a cirkumpacifikus rendszerre; ill. időben a variszkuszi és az alpi orogenezisre.

BULLARDOT (1969) kivéve, aki legalább az Urállal és a Sziklás-hegységgel kapcsolatban ad némi kételynek hangot, a szerzők az egyes lánchegységvonulatok egyedi különbségeire nem igen figyelnek. A Kárpát-rendszerrel pedig vagy egyáltalában nem foglalkoznak, vagy pedig — még az egyébként előítéletmentes BELOUSSOV (1962) is — átveszik STILLE és KOBER sokszor bírált koncepcióját.

Valóban nagyon nehéz elképzelni, hogy olyannyira hasonló elemeket más-más körülmények hoztak volna létre. Kérdés azonban, hogy ezek az elemek, ill. fogalmak (pl. Coast Range és Ural, vagy variszkuszi és alpi) valóban „olyannyira hasonlók”-e? Igaz-e, hogy különbségeik lényegtelenek, nem meghatározók, és legfeljebb csak valamilyen konfigurációkülönbséget tükröznek? Vajon jogos-e a világ valamennyi lánchegységét a Kaledonidáktól az Alpidákig, az Alpoktól az Andokig — keletkezésükhöz azonos okot rendelve — azonos szemlélettel megközelíteni?

Nem valószínű, hogy az azonos szemléletű megközelítés jogos. Ezt akarjuk igazolni a következő fejezetekkel.

A konvekciós áramok elmélete

A konvekciós áramok elméletével ismert kutatók (PEKERIS, 1935; HALES, 1936; GRIGGS, 1939a, b; VENING MEINESZ, 1952; stb.) foglalkoztak.

Az elmélet lényege, hogy a köpenyben hatalmas zártkörű anyagáramlások jönnek létre, amelyek az óceánok és kontinensek hőmérséklet-különbségéből keletkeznek, gravitációsan, ill. hidrosztatikusan mozognak (a hidegebb anyag súlyosabb, a melegebb könnyebb) és hőkiegyenlítődéssel állnak meg. Az áramköröknek a felszínnel párhuzamos ága a kontinenseket mozgatni képes. A leszálló ág-párok pedig becsíplik a kérget és geoszinklinálist hoznak létre.

GRIGGS (1939b) a geoszinklinálisképző mechanizmust és az orogenezist egy egyszerű szerkezettel — két szemben forgó hengerrel — kísérletileg reprodukálta. Ez a ma már közismert kísérlet bebizonyította, hogy a „leszálló ág-párnál”, vagyis a két henger szemben levő lefelé forgó részénél, a hengerek fölé helyezett plasztikus anyag beszívódik. Geoszinklinális tehát ilyen módon létrejöhet. Ugyanezzel a kísérlettel a kiemelkedést, a hegységképződést is reprodukálni lehetett, noha ez szinte nem is szükséges, mert a Föld esetében a túl mélyre leszívott „plasztikus” anyagot, a kérget, az izosztázia és a kéreg rugalmassága — a leszívó hatás megszűnte után — nyilvánvalóan felemeli.

Ennek a kísérletnek a sikere is közreműködött abban, hogy a lemeztektonikai elmélet kidolgozásáig a konvekciós áramok elmélete volt a legnépszerűbb geotektonikai hipotézis.

A Griggs-féle modellkísérletre alapozott koncepciónak azonban gyenge oldala, hogy kontinensperemi lánchegységeknél mind a kontinens, mind pedig az óceán alatt felszálló ágat követel meg.

A lánchegységek többsége kontinensperemi. Leszálló ág-pár viszont csak a kontinens pereménél, felszálló ág-pár pedig a kontinensek és óceánok alatt nem lehet, mert az egész elmélet alapja az óceánok és kontinensek hőmérséklet-különbsége.

A konvekciós áramok elmélete ellen egyéb érvek is felsorakoztathatók.

A köpenyben 70—200 km, 900—1200 km, 1900—2200 km és 2900 km mélységben szeizmológiai törésfelületek vannak. A köztük levő „köpenyrétegekben” az elmélet megkívánta nagy, zárt áramkörök nem férnek el. A köpeny teljes vastagságát, vagy jelentős vastagságú részét elfoglaló áramkörök pedig ezeket a törésfelületeket nem hagyták volna kialakulni.

A konvekciós áramlás megindulásához és mozgásához, a köpenyben viszonylag nagy hőmérsékleti gradiens feltételezése szükséges. Ezenkívül valamilyen viszkozitást is fel kell tételeznünk. A valóságban egyik paraméterről sem tudunk semmit.

A kontinensek mozgatásához és a geotektonikai események forrásául megkívánt energiaszinthez nagy áramkörök szükségesek, amint korábban is rámutattunk. A szeizmológiai törésfelületek azonban a nagy áramkörök létezését nem támasztják alá.

A számítások szerint a legkedvezőbb áramköreloszlás az lenne, ha a köpeny minden oktánsában egy-egy áramkör működne. A kontinensek és óceánok eloszlása mutatja, hogy ez nem így van.

De bármilyen eloszlású áramköröket veszünk is fel, és bármennyire megengedné is működésüket a *horizontális* hőmérsékleti gradiens (amelyet pontosan szintén nem ismerünk), a lánchegységeknek a földtörténet folyamán bekövetkezett ciklusos helyváltoztatásait és jelenlegi konfigurációját nagy konvekciós áramokkal magyarázni nem lehet.

A kis áramkörök mechanikailag elégtelenek, méretüknél fogva, komoly endogén energiaforrásként számításba nem jöhetnek. Ezenkívül — hogy DE SITTER (1956) idézzük — „ha minden medencéhez és lánchegységhez külön áramkört rendelünk, az elmélet önmagának ellentmond”, saját fizikai alapját — a kontinensek és óceánok megfelelő hőmérséklet-különbségét — támadja meg. A kontinensek és óceánok hőmérséklet-különbségéből ugyanis csak nagy áramköröket lehet levezetni. A kis áramkörök a tényleges tektonikai egységekkel — amint majd a Kárpát-rendszerre való alkalmazás kísérleténél látjuk — éppúgy korrelálhatatlanok, mint a nagyok.

A köpenyből ma még viszonylag kevés konkrét adatot ismerünk. Meglehetősen jól ismerjük a köpeny sűrűségét, szeizmikus sebességét és az ezekből levezethető paramétereket, valamint a törésfelületeket. A köpeny viszkozitását csak egyetlen helyen — a recens emelkedésű Fennoskandiai pajzson — határozták meg. Fajlagos vezetőképségét az elektromágneses nagy periódusú módszerek behatolási mélységéig — 200–300 km-ig — néhány helyen ismerjük. A köpeny hőmérsékletéről és ennek laterális változásáról csak feltevések vannak.

Az ismert adatokat geokémiai megfontolásokkal értelmezve, ill. kiegészítve, PRESS (1968) Monte Carlo-módszerrel megkísérelte a köpeny szerkezetének meghatározását. Számos eredménye mellett, a jelenleg tárgyalt kérdésben arra a felismerésre jutott, hogy az alsó köpeny geofizikai és geokémiai konstitúciója a felső köpenyéhez viszonyítva „teljes köpenyt átfogó konvekciót nem enged kifejlődni”.

Még ezek után sem mernénk állítani, hogy a köpenyben bizonyos konvekciónak nem lehet szerepe. A lemeztektonika is igényel bizonyos anyagmozgást. Ha ugyanis a mozgó lemez (lásd később) végén, a *spreading-központokban*, a litoszféra felszínére állandóan köpenyanyag áramlik, a lemezek vezető élénél pedig (vagyis ahol a *másik* lemezbe ütköznek) a litoszféra alámerül, valamilyen anyagkörforgást fel kell tételeznünk, hacsak nem azt tételezzük fel, hogy az alámerülő lemez kizárólag a kontinentális litoszférát gyarapítja.

Tény, hogy a konvekciós áramok elmélete még a lemeztektonikával kombinálva sem képes *minden* lánchegységet megmagyarázni.

Elég jól lehetne konvekciós áramokkal magyarázni az Ural hegységet. Ez is oka annak, hogy ezzel az elmélettel szemben teljesen negatív álláspontra nem helyezkedünk.

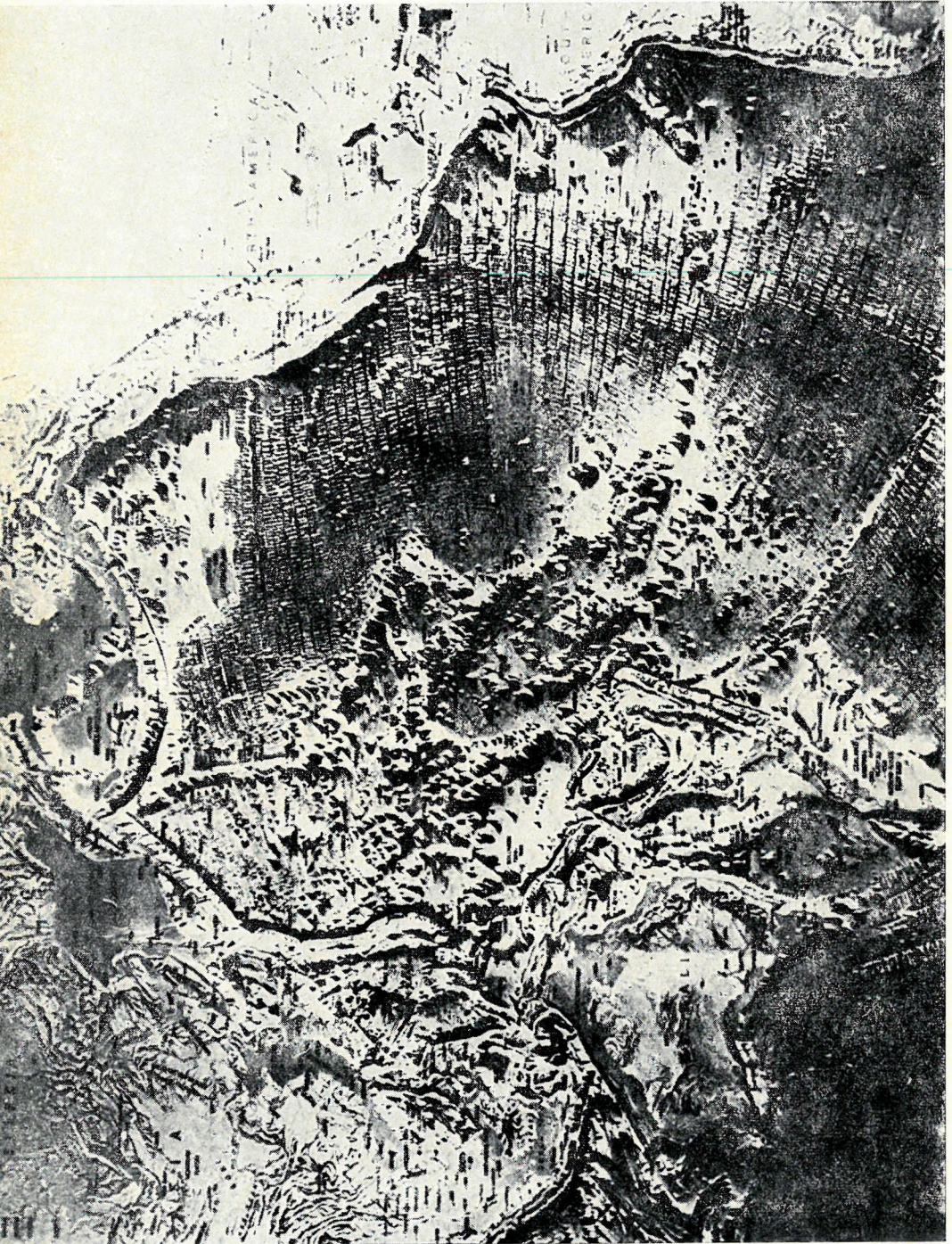
A kontinensperemi lánchegységeket viszont a Griggs-féle modellkísérletből fakadó koncepció — amint kifejtettük — nem tudja megmagyarázni. Ugyancsak nem tudja megmagyarázni a Kárpátokat.

A kontinensperemi lánchegységeket — és többségben ezek vannak — a lemeztektonika jól magyarázza. Ezt a következő fejezetben tárgyaljuk, de íme, a lánchegységek differenciálásához máris van valamilyen szempontunk.

A lemeztektonika elmélete

A lemeztektonika alapja az a paleomágneses felfedezés, hogy az óceáni hátságoktól mindkét irányban távolodva, az óceánok fenekét egyre idősebb bázisos magmatitok (tholeiitok) alkotják. Ez a látszólag egyszerű felfedezés egy egészen új hipotézishez vezetett, amelyet globális tektonikának vagy lemeztektonikának nevezhetünk (BULLARD, 1964; LE PICHON, 1968; ISACKS et al., 1968; stb.).

A paleomágneses jelenség okát kutatva, hamarosan kiderült, hogy az óceáni hátságok (7. ábra) központi gerincén húzódó árkon (*ríft-en*) át az óceánok fenekére



7. ábra. A Csendes-óceán medencéje az óceáni hátságokkal és mélytengeri árkokkal (a National Geogr. Mag. nyomán)

Fig. 7 The Pacific Basin with rifts and troughs (after National Geogr. Mag.)

állandóan köpenyanyag áramlik és a hátság tengelyére nagyjából merőlegesen mozogva, attól mindkét irányban távolodik.

A paleomágnes kutatáson kívül a szeizmológia szolgáltatott döntő adatokat a lemeztektonika megalapozásához. Ezt később részletezzük.

A lemeztektonika mechanizmusát, gömbi geometriáját, a spreading tengely szerepét, a hátságok dőlés menti töréses elmozdulásainak (transform faults) tektonikáját BULLARD (1969) dolgozta ki. Ezek a részletek számunkra jelenleg érdektelenek. A modell, ill. az elmélet lényege, hogy a Föld egész felszínét hat nagy és számos kisebb lemez foglalja el. Ez a *litoszféra*. Vastagsága 70—100 km. A litoszféra nem azonos a kéreggel, de magában foglalja azt és a felső köpeny felső részéből is mintegy 60—90 kilométert.

A lemezek a hátságtól, a *spreading központjától* távolodva úsznak a köpeny alattuk levő, olvadtak feltételezett részén. az ún. *asztenoszférán*.

A hátság gerincén húzódó rift a köpenyanyag utánpótlódási központja, a lemez vége. Az egész lemez úszik és a legfrissebben kifolyt anyagot a *tetején* viszi magával. Csak így jöhetnek létre a hátságtól távolodva növekvő értékű izokron vonalak.

A spreading-központ sekély fészktű földrengések öve. A földrengések magnitúdója 7-nél kisebb.

Ahol a mozgó lemez egy másik lemezbe ütközik (vagyis *vezető élénél*) valamilyen módon elpusztul. BULLARD (1969) szerint a másik lemez alá csúszik és visszakerül az asztenoszférába, ill. a felső köpeny mélyebb régióiba.

A becslés tényét, a becslés szögét (kb. 45°) és a becslés maximális mélységét (néhány száz kilométer) a mély fészktű földrengések információira alapozzák, amelyeknek epicentruma néhány száz kilométer mélységben van (a mély fészktű földrengések magnitúdója 7-nél rendszerint nagyobb).

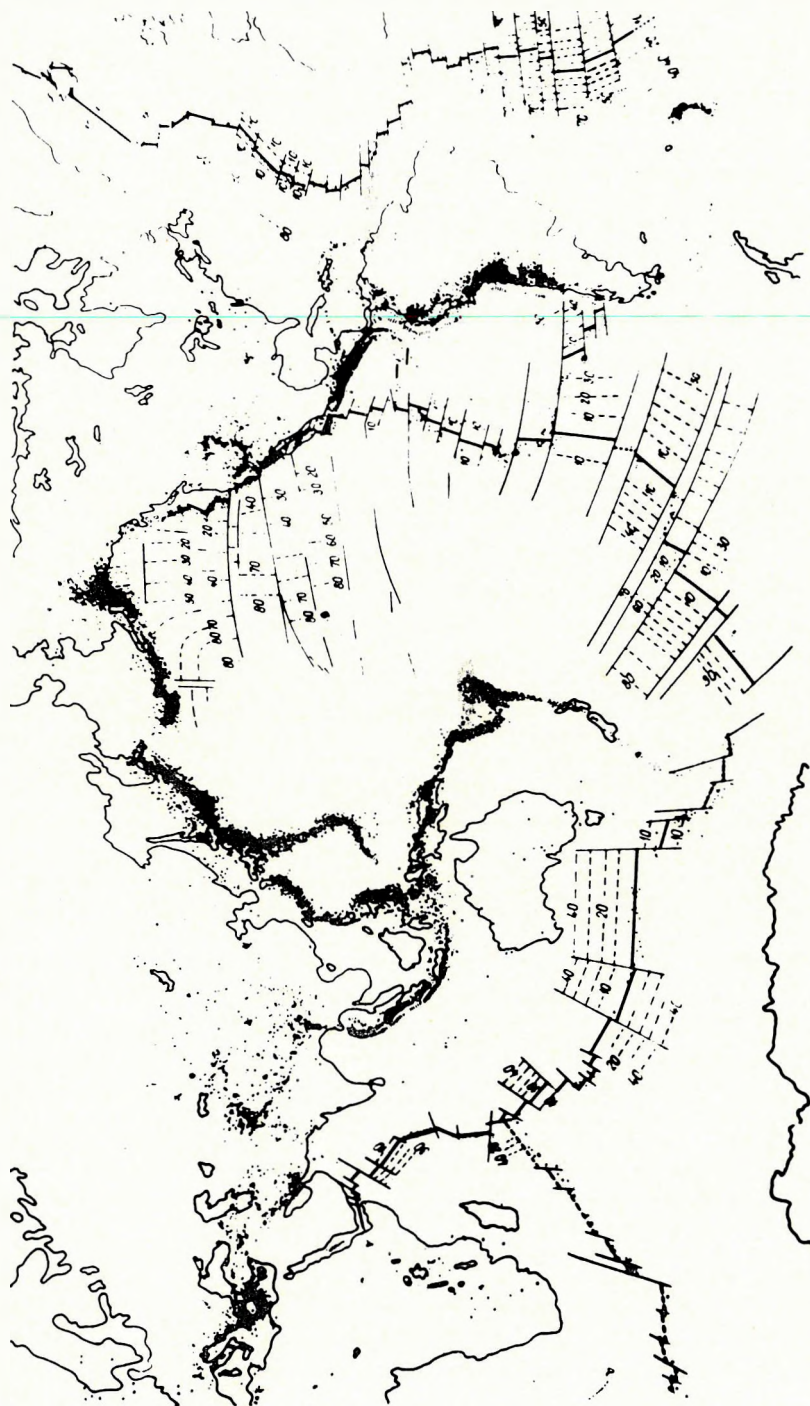
Bullard további értelmezése szerint a lemez — mielőtt lebukik — mélytengeri árkot és vulkánosorral szegélyezett szigetívet hoz létre. Ha lebukása előtt a mélytengeri árokban üledékeket torlasztott össze, ezek később lánchegységgé emelkednek.

A lánchegységek keletkezésére ez a magyarázat túlságosan egyszerű, de tény, hogy a föld felszínén a nagy szeizmicitási kis magnitúdójú övek az óceáni hátságokkal, a nagy szeizmicitási nagy magnitúdójú övek a kontinensperemi mélytengeri árkokkal és a fiatal lánchegységvonulattal korrelációban vannak (8. ábra). Az említett hat lemez (9. ábra) határának kijelölésében tulajdonképpen a szeizmológiai evidencia a legdöntőbb.

Ebben a koncepcióban a nem kontinensperemi mélytengeri árok, a nem cirkumpacifikus lánchegységrendszer és a hegységképződés mechanizmusa nem kapnak magyarázatot. Ahol a kontinensperem lemezperemmel esik egybe, a mélytengeri árok kialakulását az elmélet könnyen magyarázza. A lánchegységképződés is könnyen levezethető a hatás megszűnte után bekövetkező izosztatikussá kiemelkedéssel. A lánchegység szerkezete, többszörös oszcillációja, öveinek ciklusos eltolódása és a metamorfizmus (a geoantiklinális) azonban még ilyen helyeken sem kap magyarázatot.

A spreading jelenségét és a lemeztektonikát MENARD (1969) lényegében Bullard felfogásában fejtegeti. A mélytengeri árok származtatásában és az orogenezis értelmezésében azonban Menard véleménye eltérő. Menard ugyanis azt állítja, hogy egyik lemez a másik alá csak akkor csúszik be, ha legalább 6 cm/év sebességgel ütköznek össze. Ez a sebesség túlságosan nagy ahhoz, hogy a két lemez behajlással eméssze fel az összeütközés energiáját. Ilyenkor *csak* mélytengeri árok jön létre.

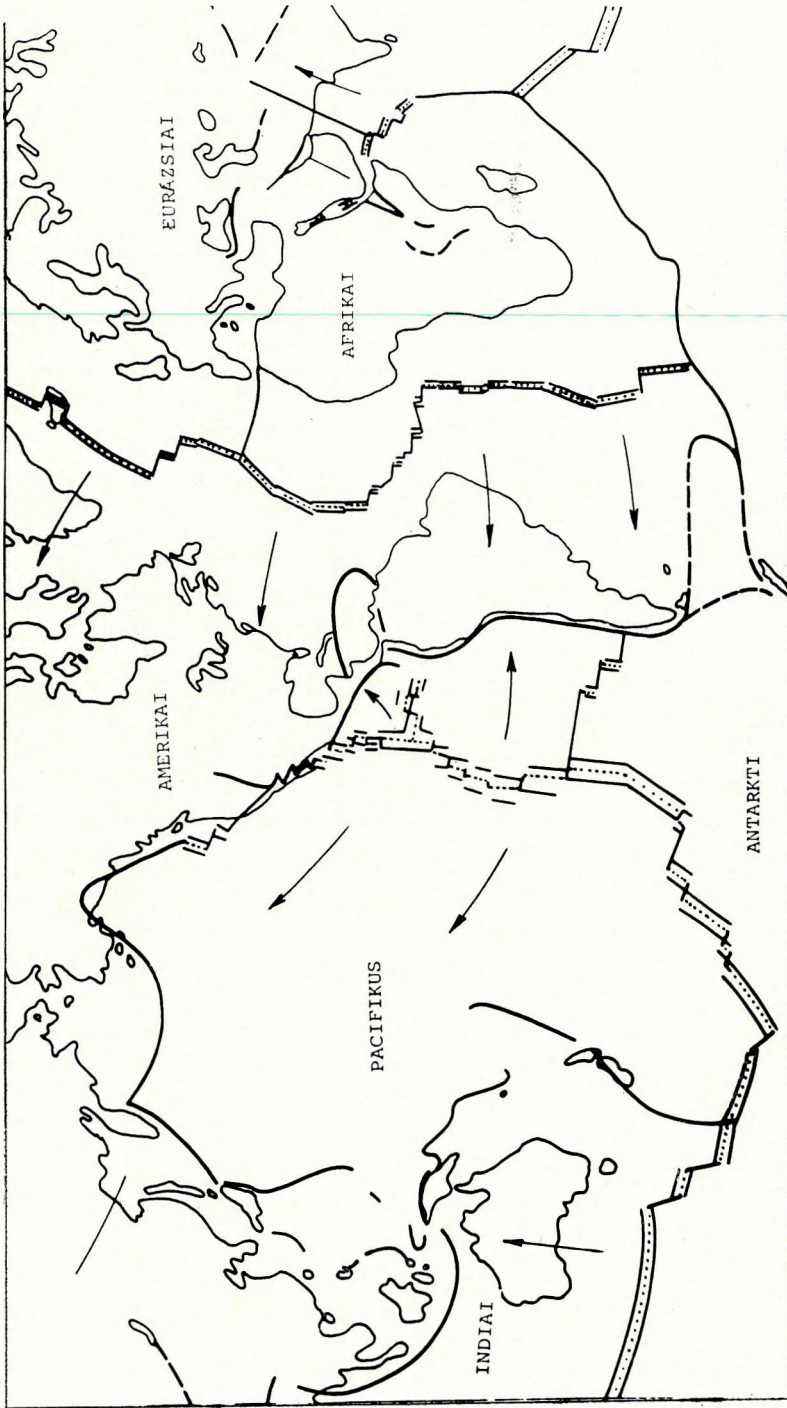
Ha az összeütközés sebessége ennél kisebb, akkor katasztrofális összeütközés helyett, mindkét lemez behajlásával és lánchegységképződéssel emésztődik fel az



8. ábra. A spreading központok, szeizmikus övek, kontinensperemi mélytengeri árkok

Fig. 8 Spreading centres, seismic zones and deep sea troughs

Рис. 8. Центры растяжения, сейсмические зоны и глубоководные морские грабены



9. ábra. A Föld litoszféráját alkotó lemezek (BULLARD, 1969 nyomán)

Fig. 9 The lithospheric plates of the Earth (after BULLARD, 1969)

Рис. 9. Плиты, образующие литосферу Земли (по Булларду, 1969)

energia. Menard a lánchegységet és gyökerét egyaránt kompresszióból származtatja.

A mélytengeri árkok származtatásában Menard felfogása látszik reálisabbnak. Valóban vannak olyan mélytengeri árkok, amelyekből sohasem lehet lánchegység (7. ábra). Ezek: az Aleuti árok, a Mariana árok, a Vityaz árokrendszer (noha ennek zárt volta lemeztektonikus eredetét egyáltalában kétségessé teszi), a Tonga-Kermadec árok és a Diamantina árok.

A lánchegységek származtatására viszont Bullard értelmezése látszanék valószínűbbnek, ha lánchegységek kizárólag ütköző lemezpáremeknél lennének, ill. a földtörténeti múltban kizárólag ilyen helyeken lettek volna. Jelenleg Bullard is csak egyetlen konkrét ilyen példát tud felmutatni: Dél-Amerika csendes-óceáni partját (8., 9. ábra).

Már most feltehetnénk a kérdést, hogy pl. az Ural és a Kárpátok hogyan illeszkednek ebbe a rendszerbe? Egy hipotézis vagy ne vindikálja az orogenezis általános magyarázatát, vagy pedig részletesen elemezzen minden lánchegységet.

Mivel azonban éppen azt akarjuk bizonyítani, hogy általános magyarázat nincs, semmit sem gyengít a lemeztektonika realitásán, ha csak a cirkumpacifikus rendszerre és ott is főleg az Andok vonulataira vonatkoztatjuk.

A lemeztektonika kétségtelen előnye általános orogenezis magyarázat nélkül is fennállanak.

Az ocean floor spreading hipotézise a kontinensúszás elméletét (Suess, 1909, Wegener, 1915) újjáélesztette, de egyúttal módosította. A kontinensúszás elmélete az elmúlt években igen mostoha kezelést kapott. Szinte babonának számított, holott a kontinensek partvonalának egybevágását tagadni nem lehet és ilyen pontos egyezés véletlen nem lehet.

A lemeztektonika a régi elméletet nem változtatás nélkül adaptálta. A régi elmélet szerint ugyanis csak a kontinens — mint ilyen — úszik a köpenyen. A lemeztektonika szerint a litoszféra 70—100 km vastag lemezei úsznak az asztenoszférán és hátukon viszik, ill. távolítják el egymástól a kontinenseket, mivel ezek is részei a lemezeknek.

A kontinensek, már Suess szerint is, valaha egy ún. Pangea-ban összefüggtek. Ezt a spreading-elmélet is elfogadja olyan formában, hogy a spreading-központ éppen ott alakult ki, ahol szétváltak. Pontosabban: éppen azért és ott váltak szét, mert és ahol a spreading-központ kialakult.

Az elmélet arra vonatkozólag nem ad útmutatást, hogy a spreading eredetileg mikor és miért indult meg. Tény, hogy a spreading-központoktól távolodó lemezekkel együtt a kontinensek is eltávolodtak egymástól, de a spreading-központok is elmozdultak.

A jelenlegi spreading-központok az óceáni hátságok (7., 8., 9. ábra). A „legrecensebb” spreading-központ a Vörös-tenger, amelyet Bullard embrió-óceánnak nevez. Itt válik el az arab félsziget Afrikától, de Afrika maga is szétszakadni készül. Az Afrikai árok rift-valley-je, morfológiájával, vulkanizmusával, ill. mágneses anomáliáival (és egyéb geofizikai paramétereivel) egy megnyílni készülő spreading-központra emlékeztet.

A paleomágneses óceánfenék-datálás 100 millió évnél idősebb anyagra utaló adatot mindeddig nem adott. Az óceánfenék legújabb földtani kutatásai (pl. a Lamont—Doherty Geological Observatory kutatásai) azt mutatják, hogy a jelenlegi óceánok fenekén 150 millió évesnél idősebb üledék nem található. Ebből azonban nem feltétlenül kell arra következtetni, hogy a szétúszás jelensége 150 millió éve kezdődött. A jelenlegi konfiguráció kialakulása azonban feltétlenül ekkor kezdődött.

Ez az időszak a felső krétára esik. Tény, hogy ha Afrikát és Dél-Amerikát összetoljuk, nem csak a partvonalak simulnak egybe, hanem a találkozásnál levő tengeri kréta-összletek is csaknem tökéletesen korrelálnak (DE SITTER, 1956), tehát az elszakadásnak ekkor, a szétúzásnak pedig ezután kellett történnie. Úgy látszik, hogy földünkön ekkor nagy események történtek. Nem állítjuk, hogy az alpi és kárpáti események, valamint a mostani kontinenskonfigurációt kialakító spreading között korreláció van, de feltűnő, hogy az Alpok kiemelkedése, a kárpáti pszeudo-geoszinklinális és a Kárpát-medence besüllyedése éppen a felső krétában történt.

BULLARD (1969) azt állítja, hogy 150 millió évesnél idősebb üledékeket azért nem találnak, mert amikor a szétúzás szétvitte a lemezeket, az ennél idősebb üledékek a lemezek ütközése következtében elpusztultak. A másik alá becsúszó lemez az üledékeket magával vitte a köpenybe, vagy pedig az ütközésnél kialakuló mélytengeri árokban összegyűjtötte, majd lánchegységgé torlasztotta.

Bullard itt azzal érvel, hogy elképzelhetetlen a kontinensek között egy több milliárd éves „békés együttélés”, amelyet éppen a felső krétában úntak meg. A felső krétában csak a jelenlegi konfigurációt kialakító spreading indult meg.

Az Atlanti-óceán ezek szerint valószínűleg csak a felső kréta óta létezik. A szétnyílás fokozatos volt: Európa Észak-Amerikától csak a harmadidőszakban szakadt el.

Tény, hogy a szétszakadás nem rögzíthető egyetlen földtörténeti időszakra, hiszen az arab félsziget — amint említettük — éppen most (gyakorlatilag a miocén óta) szakad el Afrikától, sőt az Afrikai árokban már egy jövődó spreading-központot sejtethetünk. Észak-Amerika viszont éppen ráfut egy spreading-központra (San Andreas fault; 8. ábra).

Ugyancsak említettük, hogy a Föld szeizmitási térképe tulajdonképpen a spreading-központokat és a lemezütközési sávokat mutatja (8., 9. ábra). A nagy szeizmicitású, nagy magnitúdójú ($M > 7$) övek nagy része a legfiatalabb lánchegységrendszerrel egybeesik.

Ezt eddig a legutolsó lánchegységképző mechanizmus feszültségfelhalmozó és kioldó hatásának tulajdonították. A lemezt tektonika más magyarázattal szolgál: a rengésekben kioldódó feszültségeket az ütközés hozza létre, tehát nem a *legutolsó*, hanem a *következő* lánchegységről van szó.

A cirkumpacifikus övben a fiatal lánchegységi vonulat elég nagy részének előterében geoszinklinális-gyanús mélytengeri árok van. Az e fejezetben idézett szerzők a lánchegységi tektonika magyarázatát talán ezért érezték kötelezőnek.

A fiatal lánchegység és a nagy szeizmicitású övek közötti korreláció valóban olyan jó, amelyet a természetben ritkán találunk.

A lemezt tektonika (és bármilyen tektonika) orogenezist magyarázó általános érvényéhez viszont nem *jó*, hanem *teljes* korreláció szükséges.

A lemezt tektonikai hipotézis nem kielégítően magyarázza az Alpokat, alig magyarázza az Eurázsiai-rendszert, egyáltalában nem magyarázza az Uralt, a Kárpátokat és a Sziklás-hegységet.

A lemezt tektonika végső kifejtésében a felsorolt szerzők tartózkodók és hangsúlyozzák, hogy a részletek kidolgozása még hátra van.

Ehhez hozzátesszük, hogy nem is várjuk a lemezt tektonikától valamennyi geotektonikai jelenség magyarázatát.

Van ellenben ennek a hipotézisnek egy eddig elhanyagolt oldala: a felső köpeny Gutenberg-csatornájának az asztenoszférával való korrelációja. Ennek a korrelációnak a lehetősége eddig csak mint gyanú — és az is igen óvatosan — merült fel (PRESS, op. cit., ISACKS et al., op. cit.).

Tudomásunk szerint elsőként magyar szerzők (ÁDÁM, 1968b; SZÉNÁS, 1969) kísérelték meg a Gutenberg-csatornát a felső köpeny ún. jól vezető csatornájával korrelálni.

Erről a csatornáról a következőket tudjuk. Mélysége a Kárpát-medencében, orogén övekben és óceánok alatt 60—100 km. Az orosz táblán és a szibériai pajzson a csatorna mélysége — szovjet szerzők (pl. FOTIADI et al., 1965) szerint — 160—200 km. A csatornában a szeizmikus hullámok sebessége általában csökken (GUTENBERG, 1959), sőt az *S* hullámok csaknem kioltódnak (ANDERSON—ARCHAMBEAN, 1964). Határán a sűrűség alig növekszik, benne pedig valószínűleg konstans (PEKERIS, 1966). Mindezekért viszkozitását is kisebbnek tételezhetjük fel, mint alatta vagy felette. Tulajdonképpen olvadt állapotúnak tekinthető.

A csatorna vastagságát nem ismerjük. Az a tény, hogy a rengéshullám — az abban a mélységben domináló hullámhossz mellett — jelzi, arra utal, hogy a csatorna vastagsága legalább 100 km.

Tételezzük fel, hogy a Gutenberg-csatorna (nevezzük így, noha Gutenberg csak szeizmológiai úton közelítette meg) azonos az asztenoszférával. Ha ez igaz, akkor a felette levő kéreg-köpeny lemez a litoszféra.

Az óceáni, lánchegységi és Kárpát-medencebeli csatornamélység-adatok (60—100 km) a Bullard-féle litoszférvastagság-adatokkal (70—100 km) jól korrelálnak.

A szovjet szerzők által jelentett mélységadatok azonban jóval nagyobbak (160—200 km).

Ha az adatokat észlelési helyeik szerint súlyozzuk, azt látjuk, hogy a kontinentális tábla az óceáni, valamint orogén területektől jól elkülönül. A Kárpát-medencét — kicsinysége miatt — egyelőre mellőzzük.

Az amerikai és orosz szerzők által jelentett adatok látszólagos nagy eltérése azzal magyarázható, hogy az amerikaiak szinte kizárólag óceáni, az oroszok pedig kizárólag kontinentális megfigyeléseket végeztek.

A csatorna mélységváltozása tehát szisztematikus és szignifikáns. Akkor pedig véletlen nem lehet.

Mielőtt a jelenség magyarázatát megkísérelnénk, gondoljuk át a következő tényeket.

A kontinensek átlagos magassága és maximális magassága között a különbség kb. 8 km. Az átlagos és maximális kontinentális kéregvastagság között a különbség 40 km, vagyis a magasságkülönbség ötszöröse. A kéreg vastagsága és a felszín magassága — az izosztázia következtében — korrelációban van.

A kéreg és a köpeny sűrűségkülönbségét $0,3 \text{ g/cm}^3$ -nek tételezzük fel. Ez a sűrűségkülönbség *ilyen* magasság mellett, *ilyen* maximális bemerülést enged meg.

A litoszféra és az asztenoszféra sűrűségkülönbsége — a számítások szerint — $0,05 \text{ g/cm}^3$. Az óceánok *átlagos* mélysége és a kontinensek *átlagos* magassága között a különbség 5—6 km. A litoszféra átlagos óceáni vastagsága és maximális kontinentális vastagsága között a különbség kb. 100 km, a kontinentális kiemelkedésnek mintegy hússzorosa. Ez a különbség — a számítások szerint — izosztatikusan éppen megfelel a litoszféra és asztenoszféra sűrűségkülönbségének.

Nem lehet véletlen, hogy a litoszférának éppen a tenger szintje fölé emelkedő részei vastagok. Ha pedig véletlen, akkor a jelenséget úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a kontinenseknek, ill. a kontinentális litoszférának az asztenoszférában *gyökere* van. Ez viszont nem kevesebbet jelent, mint hogy nemcsak a kéreg úszik izosztatikusan a köpenyen, hanem a *litoszféra is izosztatikusan úszik az asztenoszférán*.

Továbbvezetve a következtetést, a leírt jelenség arról tanúskodik, hogy *két*

izosztázia van. Létezik egy asztenoszféra — litoszféra-rendszer, és — ezen belül — egy litoszféra — kéreg-rendszer. Nem mernénk állítani, hogy ezeken kívül több izosztázia nem létezhetik, hiszen az egész felső köpeny vastagsága úgy aránylik a Föld átmérőjéhez, mint a dióhoz a héja.

A leírt Föld-modellt fizikailag semmi sem zárja ki. Elképzelhetünk egy különböző sűrűségű olajokból álló háromréteges modellt, ahol minden olajrétegnek külön hidrosztatikus állapota, az egész rendszernek pedig egységes hidrosztatikus állapota van. Létezhetik tehát *réteges* izosztázia.

A lánchegységek azonban látszólag megcáfolják ezt a modellt, hiszen szemmel láthatólag a kontinenshez tartoznak, litoszférájuk pedig mégsem vastag. Próbáljuk meg ezt az ellentmondást feloldani.

A kéreg-izosztáziában a Moho a felszíni domborzatnak durva tükörképe. Miért ne alkalmazhatnánk ezt az elvet a litoszféra-izosztáziára? Az izosztáziának a litoszféra-asztenoszféra transzpozíciójában az asztenoszféra felszínének kell a Moho-val durván antikorrelálnia. Ezzel már meg is találtuk a lánchegységi litoszféra vékonyságának magyarázatát, sőt egy lánchegységképződési lehetőséget.

Ha ugyanis az alulról vékonyodó kéreg felül medenceképződést követel meg, a vékony, ill. alulról vékonyodó litoszféra viszont — izosztatikusan — kéregbehajlást kell, hogy követeljen.

Ha ezt a modellt a jövőben geofizikailag igazolni lehet, megtaláltunk egy lánchegységképződési elvet. Megtaláltuk a harmadik típusú, az intrakontinentális izosztatikusan lánchegység keletkezési elvét és mechanizmusát.

Okoskodhatunk úgy is, hogy ha a kéregelemek — pl. a lánchegységek — gyökerének eltűnéséhez minimálisan két hegységképződési ciklus szükséges, a litoszféraelemek negatív gyökerének eltűnése minimálisan négy-öt hegységképződési ciklust igényel. Ha a variszki hegységgyökerek ma még megvannak (és megvannak), akkor a prekambriumi negatív litoszféra-gyökereknek (asztenoszféra-domborulatoknak) is meg kell ma még lenniük. Asztenoszférájuk tehát még ma is óceáni. Úgy is mondhatnánk, hogy óceáni reliktumok.

Kontinensperemi lánchegység képződését a lemeztektonika jól magyarázza. Intrakontinentális (egyenes) nagy lánchegység (pl. az Ural) keletkezését a Gutenberg-csatorna és a Repetti törésfelület között kialakuló konvekciós áramrendszerrel is magyarázhatjuk. Intrakontinentális görbe, kis pseudo-lánchegység keletkezését (pl. a Kárpátokét) a litoszféra-izosztázia magyarázza, noha az izosztáziának (a kéreg-izosztáziának) az összes többiben is szerepe van.

*

Reméljük, sikerült megrendíteni azt a szemléletet, hogy lánchegységek csak egyetlen módon keletkezhetnek.

Eddig mindig lánchegységekkel foglalkoztunk. Valóban ezek az elemek a Föld legérdekesebb részei, a Föld aktív tektonikai élete bennük mintegy sűrítve nyilvánul meg. Ne felejtjük el a táblás vidékeket sem.

Mialatt a geoszinklinálisokban az orogenezis zajlik, a táblás vidékek is oszcillálnak. Hosszú hullámú, lassú mozgásokkal részt vesznek a geotektonikai eseményekben. Annakra részt vesznek, hogy a kutatók minden „orogén” eseménynek a „szinorogén” párját a szomszédos táblás vidékeken megtalálják.

Erre csak azt a magyarázatot ajánlhatjuk fel, hogy azok a viszonylag gyorsan lecsengő folyamatok, amelyek a litoszféra alján az orogenezist vezérlik, elhalkulva a táblás vidékeken is működnek.

Hogy azonban melyek ezek a folyamatok, pontosan hogyan működnek, hány izosztázia van és a legalsót mi vezérli — ezeket valószínűleg később ismerjük majd meg, mint a Hold szerkezetét (igaz, hogy e kérdések megismerésére jóval kevesebbet is költenek).

Teszt-modellünk végül is a Kárpát-rendszer. Az a véleményünk, hogy a Kárpátok vonulata tisztán litoszféra eredetű, izosztatikus kialakulású, *lánchegységsterü* képződés, vagy — amint korábban említettük — pszeudo-lánchegység.

Ha ezt valaha mérésekkel bizonyítani tudjuk, a Kárpátok minden sajátossága, minden rejtélye magyarázatot kap. Ugyanez vonatkozik a Kárpát-medencére, amely a Kárpátokhoz képest másodlagos. Így érthetővé kell hogy váljék a Gutenberg-csatorna sajátos helyzete, amelyet a 30. oldalon felvázoltunk.

A Kárpát-rendszer ilyen minősítése akkor is megáll, ha a Belső-Kárpátokat is lánchegységnek és a vonulat szerves részének tekintjük. Ha azonban csak a Külső-(flis-) Kárpátokat minősítjük lánchegységnek, de csak pszeudo-lánchegységnek, akkor különösen jogosnak látszik az érvelés, mert hogyan is illenek egy intrakontinentális, intraplatform, felső krétabeli, izosztatikus, litoszféra-geoszinklinális a köpenybeli asztenoszféra-geoszinklinálisok geotektonikai rendszerébe?

Ha geofizikailag a leírtaknak csak fele igazolható, a klasszikus szemlélet gyógyíthatatlan sebet kap. Ez a tanulmány egyik célja: igazolni akartuk, hogy a geotektonika klasszikus és egyoldalú koncepcióival végleg szakítanunk kell.

Konvekciós áramok vagy spreading lehetősége a Kárpát-rendszerben

Amikor a Kárpát-medencét keretező hegységeket konvekciós áramoktól származtatják (pl. STEGENA, 1967), a hegységeket nem differenciálják. Nem tesznek különbséget lánchegység és nem lánchegység között, és a hegységek korát nem mérlegelik.

A valóságban a medencét keretező hegységrendszer rendkívül heterogén és mindegyiknek származtatására időben és térben változatos áramrendszert kell vonulatonként feltételezni.

A keret egyik lánchegységi tagja az Alpok. Ennek földtörténeti időtartománya a prekambriumtól a neogénig terjed.

A keret másik lánchegységi tagja a Dinaridák. Földtörténeti időtartománya a perm-től a neogénig terjed, noha variszkuszi elemei is vannak.

A harmadik lánchegységi tag a külső vagy flis-Kárpátok. Ennek földtörténeti időtartománya a felső kréta-neogén szakaszt fogja át.

Vegyük egyenként ezeket az elemeket. Az Alpoknak ősi prealpi, kristályos „geoantiklinális”, csekély „eugeoszinklinális”, „miogeoszinklinális”, flis-öve, elősülydedéke és molassz-medencéje van. Az Alpok vonulata — az elősülydedéket, a flis-övet és a molassz-medencét kivéve — kétoldalúan részarányos.

A Dinaridáknak „eugeoszinklinális”, alárendeltebb „miogeoszinklinális”, flis-öve és molassz-medencéje van (a vulkánitokat nem tárgyaljuk, mert tárgyunk szempontjából jelenleg lényegtelenek). A Dinaridák vonulata lényegében egyoldalas.

Az ugyancsak egyoldalas flis-Kárpátoknak már csak „flis-öve” és elősülydedéke van. Molassz-medencéjének — tévesen — a Kárpát-medencét tekintik, holott valójában, ha a Kárpátoknak molasszra egyáltalában szükségük van, az északi elősülydedéket feltöltő neogént lehetne molassznak tekinteni. Az elősülydedék vastag kérge ezt nem zárja ki, hiszen a vitathatatlanul molassz jellegű Pó-síkság (Lombardiai-medence) kérge is vastag.

A felsorolt elemek és azok összetevői mind más-más kéregviszonyok mellett jöttek létre és más-más kéregviszonyokat jeleznek.

Kíséreljük meg a konvekciós árammechanizmust a három hegységre fázisonként alkalmazni, és az egyszerűség kedvéért felejtsük el, hogy az egészen eltérő csapású Appeninek is a közelben vannak és áramrendszereket igényelnek.

Az Alpokban, amely valaha a varisztikum előtt talán kontinensperemi, sőt — a lemeztektonika szemléletével — lemezperemi lehetett, a „geoantiklinális” alatt leszálló ág-párnak kellett lennie. Később ez megállott, elengedte az Alpok gyökerét és kiemelkedett a mai „geoantiklinális” vagy „kristályos maghegység”.

Mivel a prekambrium orogeneziseket datálni nem tudjuk, és mivel a prekambrium egymaga többszörösen hosszabb időtartamot fog át, mint a jobban datált ezutáni szakasz, ez a jelenség elvileg többször megismétlődhetett.

A permben a leszálló ág-pár ismét üzembe lépett. Ismét leszívta a gyökeret, majd megállt. Az alsó kréta végén elengedte a gyökeret, a lánchegység ismét kiemelkedett. Két szorosan egymás mellett működő áramrendszert kell feltételeznünk, mert ezúttal már a kiemelkedő perm — alsókréta-tagok a „geoantiklinális” mindkét oldalán helyezkedtek el.

A „geoantiklinális”, ha előbb nem, akkor ezúttal átkristályosodott. Lehet azonban, hogy csak később, mert NIGGLI jr. (1965) szerint az Alpokban a *harmadidőszaki* metamorfózis bizonyítottan tekinthető.

A szemben forgó áramkörök hosszan elnyúlt rendszere ezután áthelyeződött az északi flis-öv alá és ismét elvégezte a leírt műveletet: a felső krétában a leszívást, a neogénben a visszaengedést.

Ezt követően a konvekciós mechanizmus vagy megszűnt, vagy pedig egy hatalmas ugrással az Alpektől délre, a Pó-síkság alá került. Ezt neogén öszlet tölti fel és kérgé többnyire vastag.

A Dinaridák prevariszkuszi és variszkuszi múltja nem ismeretes. Ezután azonban lényegében itt is ugyanaz történt, mint az Alpokban. Itt azonban a leszálló ág-párnak DNy felé kellett tolódnia, mert ennek a vonulatnak a flis-öve és molassz-medencéje a fővonulattól DNy-ra helyezkedik el.

Amikor ez a leszálló ág-pár az alsó kréta végén éppen „elengedte” a Dinaridák addig lefelé szívott és fogva tartott gyökerét, hogy DNy felé tolódva a flis-övvvel foglalkozzék, egy *másik* leszálló ág-pár — innen 400 km-re — a flis-Kárpátok gyökerének „leszívásán” kezdett munkálkodni.

A neogénben a Dinaridák leszálló ág-párja ismeretlen sorsra jutott, a Dinaridák molassza ugyanis normális kérgű. A kárpáti leszálló ág-pár viszont a neogénben — északra tolódva — a kárpáti elöszüllyedék leszívásán fáradozott. Ennek kérgé ugyanis vastag (2. ábra) és felszíni medencéjét főleg neogén tölti fel.

*

Mindez csak bizonyos fokú részletezés volt. A diszkordanciák arról vallanak, hogy a kéreg mindhárom hegységben ennél jóval többet oszcillált.

Fel kell még tenni azt a kérdést, hogy a konvekciós áramok miért éppen olyan vonalak mentén működtek, mint amelyeneket az érintett hegységek a glóbuszon kijelölnek? Teljesen homályos az is, hogy amíg a lánchegységekkel a leírt események „történtek”, a medencét keretező, nem lánchegységi típusú, közbeékelt kéregdaraboknak, pl. a Cseh masszívumnak, mi volt a sorsa?

Nyilvánvaló, hogy ezekre a kérdésekre a konvekciós áramok elmélete választ adni nem tud.

A konvekciós áramok szerepét a Kárpát-rendszer létrehozásában el kell vetnünk.

*

A lemeztektonika és a Kárpát-rendszer viszonyát, tudomásunk szerint még nem vizsgálták. Mivel azonban az alpi takaróelméletekből a konvekciós áramok elméletéig, eddig még minden nagytektonikai hipotézis megtalálta a maga útját a Kárpát-rendszerbe, ez is csak idő kérdése. Az érdekesség kedvéért megjegyezzük, hogy az északi miocén vulkánosor és a DNy-ázsiai szigetívek vulkánosora között hasonlóságot már találtak, továbbá a Kisalföld neogén süllýedékét is hasonlították már az afrikai árkokhoz.

Talán még nem késő a Kárpát-rendszert a lemeztektonikával rendszeresen és megfontoltan egybevetni.

A Kárpát-rendszer egy lemeznek csak egy igen kis része. Az a lemez, amelyik — ha egyáltalában létezik — a Kárpát-rendszert magában foglalja, az Atlanti hátságnál kezdődik és keleten legalábbis az Uralig, délen pedig Afrikáig terjed. Északi határa bizonytalan (9. ábra). A Kárpát-rendszer ezen a hatalmas lemezen egy jelentéktelen kis elem.

Már tisztáztuk, hogy ez a lemez a felső krétában, sőt ez után kezdett kelet felé mozogni. Spreading-központja az Észak-atlanti hátság. A lemezen belül újabb spreading-központ kialakulásának semmi nyoma. Ütközési pereme vagy az Uralnál, vagy pedig valahol a Csendes-óceánnál van, ill. volt.

A jelenlegi spreadinget, ill. a kontinenseknek a spreading által kialakított jelenlegi konfigurációját a felső krétától származtatjuk.

A régebbi spreading-központok és lemezütközési peremek valószínűleg máshol voltak. Sem az Alpok, sem a Dinaridák vonulata nem peremi, cirkumpacifikus típusú.

A krétát megelőző spreading — ha volt — nem érinthette a Kárpátokat, mert e vonulatnak akkor még nyoma sem volt. A Dinaridákra valószínűleg ugyanez vonatkozik. A régi spreading az ős Alpokat talán érinthette.

Amikor az Alpok és a Dinaridák alpi ciklusú fő üledékképződése zajlott, Amerika Európától még el sem szakadt. A Kárpátok üledékképződésének idején is éppen csak kezdett elszakadni. Az elszakadást azonban egy olyan hatalmas, egységes lemez hajtotta végre, amely az Alpokat, a Dinaridákat és a Kárpát-rendszert egyaránt magában foglalta.

A Kárpát-rendszer alatt a Gutenberg csatorna, ill. az asztenoszféra óceáni jellegű. Ebből nyilvánvaló, hogy a litoszféra itt valaha óceáni jellegű volt és ezt az állapotot még ma is őrzi. A kárpáti litoszféra óceáni reliktum. Ez azonban csak az egyik lehetséges magyarázat.

A másik magyarázat, hogy ez a két lánchegység: a Dinaridák és a Kárpátok vonulata, különböző ciklusban ugyan, de létrejött. Izosztatikusan jöttek létre, mert litoszférájuk (valamilyen okból) külön-külön vékony volt. A két litoszféra-domborulat pedig a Kárpát-medence alatt összeér.

A Kárpát-rendszer semmi esetre sem a litoszféra horizontális mozgásainak köszönheti létét. A Kárpátok vonulata nem tipikus lánchegység. Vastag kérge azonban lánchegységhez hasonlóvá teszi. Ezért kimondhatjuk, hogy lánchegység-szerű alakulatok, vagy — ha úgy tetszik — pszeudo-lánchegységek *másképpen* is

létrejöhetnek, mint ahogyan a klasszikus és modern nagytektonikai elméletek a lánchegységképződést leírják.

Legjobb példa erre éppen a Kárpátok vonulata. Keletkezési mechanizmusa nem nyúlik le a mély felső köpenybe, hanem valószínűleg csak a litoszférára szorítkozik. Üledégyűjtőjét (kéregbehajlását) minden bizonnyal litoszféramechanizmus hozta létre. Kiemelkedését pedig a kéreg külön izosztáziája vezérelte.

Az egész rendszernek a lemeztectonikával valamilyen kapcsolata csak kétszeres-háromszoros áttétellel lehetett, ill. lehet.

Összefoglalás és javaslatok

A lemeztectonika elmélete geofizikailag megalapozott elmélet. A Föld globális tektonikáját jobban magyarázza, mint a konvekciós áramok elmélete. Az elmélet részletes kidolgozása azonban még hátra van.

Ennek a tanulmánynak egyik célja, hogy rámutasson a tektonikai elemek léptékkülönbségére. Egyetlen elméletet sem szabad a vizsgált elem méretének, kéregszerkezetének és földtörténeti múltjának ismerete nélkül alkalmazni. A Kárpát-rendszer például nem globális szintű tektonikai problémát vet fel.

A tanulmány másik célja, hogy a minden jelenséget egyetlen elvvel magyarázó elméletek tarthatatlanságát bebizonyítsa. Sem a lemeztectonika, sem más globális tektonika nem magyarázhatja meg a Föld valamennyi tektonikai elemét. Hasonló elemeket egészen eltérő mechanizmusok is létrehozhatnak. Azonos mechanizmus pedig — a talált konfiguráció függvényében — különféle elemeket hozhat létre. A közös ok, amely valamennyi mechanizmus mögött van, ma még ismeretlen.

A lemeztectonika — és ennek rendszerén belül a kistectonika — továbbfejlesztéséhez felvetettük a *réteges izosztázia* gondolatát, amelynek lényege, hogy nemcsak a kéreg a köpenyvel, hanem a litoszféra az asztenoszférával is izosztatikussá tehető.

*

A további teendőket illetően tanulmányunkat néhány javaslattal szeretnénk zárni.

El kell dönteni, hogy igaz-e a kontinentális és óceáni litoszféra szisztematikus vastagságkülönbsége. Ugyancsak végleges bizonyosságot kell szerezni arról, hogy az asztenoszféra a Gutenberg-csatornával valóban azonos-e.

Ehhez a magnetotellurikus mélyszondázások kifejlesztése, kiterjesztése és tektonikailag orientált alkalmazása szükséges.

A szeizmikus mélyszondázásokat szintén tovább kell fejleszteni, hogy legalább az asztenoszféráig nyújtsanak behatolást.

Egyidejűleg fokozni kell a kéregkutatásokat és a kéregvastagságot nemcsak a felszíni domborzattal, hanem a litoszféra vastagságával is korrelálni kell.

Alaposan meg kell vizsgálni a spreading-központokat, az óceáni hátságokat, mert ezek anyagából és a bennük lejátszódó jelenségek vizsgálatából kaphatunk némi betekintést a geotektonikai mechanizmus mélyen fekvő egységes okára.

Meg kell kísérelni a spreading-központok korrelálását a Föld globális tömegaszimmetriájával. Ehhez mágneses és gravitációs mérések, de legalábbis számítások szükségesek.

Meg kell vizsgálni, hogy a lemeztectonika a lánchegységek lassú üledékképző-

dését és viszonylag gyors orogenezisét, valamint a táblás vidékek lassú oszcillációját miért nem magyarázza, ill., hogy ezt a jelenségcsoportot lemeztectonikával hogyan lehet kielégítően megmagyarázni.

A tektonikai szemléletben gyökeresen szakítani kell a „klasszikus” felfogásokkal és tényekre, geofizikai mérésekre alapozott, kiszámított, géppel ellenőrzött modellekre kell törekedni.

A Kárpát-rendszerre javasoljuk, hogy a már elvégzett munkákra alapozva, viszonylag sűrű szeizmikus és magnetotellurikus (elektromágneses) kéreg- és köpeny-szondázásokat kell végezni.

Pontosan meg kell határozni a köpeny, valamint az asztenoszféra tetejének fizikai állapotát és domborzatát; meg kell vizsgálni a két felület korrelációját.

Évtizedek múlva, a legvékonyabb kérgű helyek valamelyikén, nemzetközi összefogással egy köpenykutató mélyfúrást kell majd mélyíteni.

IRODALOM

- ÁDÁM, A., 1964: The build of the crust and upper mantle based on MT and TE measurements. Geofizikai Közlemények (Geophysical Transactions), XIII. 2., Budapest
- ÁDÁM, A., 1968a: A magyarországi elektromágneses mérések információiról. Geofizikai Közlemények, XVII. 1—2. Budapest
- The informations of the Hungarian electromagnetic measurements. Geofizikai Közlemények (Geophysical Transactions), XVII. 1—2. Budapest
- ÁDÁM, A., 1968b: A felső köpeny elektromos jól vezető rétegének összefüggése a nagytektonikával. Geofizikai Közlemények, XVII. 1—2. Budapest
- Correlation between the geoelectric conductor of the upper mantle and geotectonics. Geofizikai Közlemények (Geophysical Transactions), XVII. 1—2. Budapest
- ANDERSON, D. L.—ARCHAMBEAN, C. B., 1964: The anelasticity of the Earth. J. Geophys. Res., 69, 2071
- BELOUSSOV, V. V., 1962: Basic Problems in Geotectonics. McGraw Hill, New York
- BULLARD, E. C., 1964: Continental drift. Quart. J. Geol. Soc. London, 120 1
- BULLARD, E. C., 1969: The origin of the oceans. Scientific American, 22, 3, New York
- CIOCARDEL, R.—ESCA, A., 1966: Essai de synthèse des données actuelles concernant les mouvements verticaux récents de l'écorce terrestre en Roumanie, Revue Roum. de Geol. Geoph. et Geogr. 10, 1, Bucarest
- DRAGAŠEVIĆ, T.—ANDRIĆ, B., 1968: Deep seismic sounding of the Earth's crust in the area of the Dinarides and the Adriatic Sea. Geoph. Prosp., XVI. 9
- EGYED, L., 1956: The physics of the Earth. Akadémiai Kiadó (Acad. Edit. Co.), Budapest
- FOTIADI, E. E.—VANYAN, L. I.—KHARIN, E. P., 1965: Glubinnij magnitovariatsonnic sondirovannija na yuge-sredney Sibiri v Zabajkalie. Dokl. AN SSSR, 164 (3) 559—62
- MT deep sounding in southern central Siberia and in the Trans-Baikal region. Transact. Ac. Sc. USSR 164 (3) 559—62
- GRIGGS, D., 1939a: Creep of rocks. Journ. of Geol. 47, 225
- 1939b: A theory of mountain building. Am. Journ. Sci., 237, 611—50
- GUTENBERG, B., 1959: Physics of the Earth's interior. International Geophysics Series I, Academic Press, New York—London
- HALES, A. L., 1936: Convection-currents in the Earth. Geoph. Suppl. Monthly Not. R. Astr. Soc. 3, 372—79
- INTERNATIONAL CO-AUTORSHIP, 1971: The East-european crustal deep seismic soundings. Editors: V. B. Sollogub and G. Szénás. Geofizikai Közlemények (Geophysical Transactions), XX. 3—4., Budapest
- NEMZETKÖZI MUNKAKÖZÖSSÉG, 1971: A kelet-európai kéregkutató szeizmikus mélyszondázások. Szerkesztők: V. B. Szollogub és Szénás Gy., Geofizikai Közlemények, XX. 3—4., Budapest (angol nyelven)

- ISACKS, B.—OLIVER, J.—SYKES, I. R., 1968: Seismology and the new global tectonics, *J. Geophys. Res.* 73, 5855
- MENARD, H. W., 1969: The deep ocean-floor. *Scientific American*, 221, 3, New York
- MITUCH, E., 1968: The DSS results in Hungary. *ELGI Évi Jelentés (Annual Report) 1967*, Budapest
- NIGOLI JR., C. F., 1965: Tertiäre metamorphose in den Schweizerischen Alpen. Előadás a Magyar Tudományos Akadémián, Budapest
Cenozoic metamorphism in the Swiss Alps. Lecture in the Hung. Ac. Sc., Budapest
- PEKERIS, C. L., 1935: Thermal convection in the interior of the Earth. *Geoph. suppl. Monthly Not. R. Astr. Soc.*, 3, 343—67
- PEKERIS, C. L., 1966: The internal constitution of the Earth. *Geophys. J.*, 11, 85
- LE PICHON, X., 1968: Sea floor spreading and continental drift, *J. Geophys. Res.*, 73, 3661
- PRESS, F., 1968: Earth models obtained by Monte-Carlo inversion. *Journ. of Geoph. Res.* 73, 16, 5223
- SCHATSKY, N. S.—BOGDANOFF, N. A.—MOURATOV, M. V., 1964: *Tectonique de l'Europe*. Maisons d'edition Nauka et Nedra, Moscou
- DE SITTER, W., 1956: *Structural Geology*, McGraw Hill, New York
- DE SITTER, W., 1967: *Structural Geology*, Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- SOLLOGUB, V. B.—SUBBOTIN, S. J., 1967: The structure of the Earth's crust in the Eastern—Carpathians and on the Ukrainian shield according to DDS measurements, CBA VIII the Session, Beograd
- STEGENA, L., 1967: A Kárpát-medence kialakulása. Előadás. Magyar Geofizikusok Egyesülete, Budapest
The evolution of the Carpathian basin. Lecture. Soc. Hung. Geoph., Budapest
- Suess, E., 1909: *Das Antlitz der Erde*. Bd. 3. F. Tempsky, Wien, G. Freytag, Leipzig
- SZÉNÁS, Gy., 1964: Néhány megjegyzés a magyarországi földkéregről. Some remarks concerning the Earth's crust in Hungary. *Geofizikai Közlemények (Geophysical Transactions)*, XIII. 3, Budapest
- SZÉNÁS, G., 1969: The evolution and structure of the Carpathian basin, ELGI, Budapest, *special paper*
- SZÉNÁS, G., 1971: The crustal-structural (DDS) approach of the term "sedimentary complex" in the Carpathian basin. *Tectonophysics*, Amsterdam
- VENING MEINESZ, F. H., 1952: Convection-currents in the Earth and the origin of the continents. I *Proc. Kon. Ak. v. Wetensch. (B)* 55 (S) 527—54, Amsterdam
- WEGENER, A., 1966: *The origin of continents and oceans* 4th ed., Dover, New-York

G. SZÉNÁS

GEOPHYSICS AND EARTH STRUCTURE

The Carpathian system (the Carpathians and the Carpathian Basin together) in spite of its small size should be considered as an independent geotectonic unit. Although the latest results of the international deep seismic sounding profiles and other data contributed to the cognition of its origin, still remained several questions to be answered.

It seems to be sure that the origin of all mountain chains cannot be deduced from the same model. Neither the theory of convective currents, nor the plate tectonics can be applied to the Carpathian system without getting into conflict with several geophysical data.

Author recommends a model in which the origin of the Carpathian system is initiated from the asthenosphere and controlled by isostasy.

Г. СЕНАШ

ГЕОФИЗИКА И СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Несмотря на свои малые размеры, система Карпат (совокупность Карпат и Карпатского бассейна) должна рассматриваться как самостоятельная геотектоническая единица. Хотя последние результаты международных глубинных сейсмических зондирований земной коры и прочие данные внесли значительный вклад в познание ее природы, ряд вопросов остается все еще нерешенным.

Формирование всех горных цепей, по всей вероятности, не может быть объяснено одной и той же моделью. Применительно к системе Карпат как теория конвективных течений, так и глобальная тектоника плит входят в противоречие с определенными геофизическими данными.

Автором предлагается модель, по которой формирование Карпат связывается с астеносферой и управляется изостазией.

A NEW ROTATION HYPOTHESIS ON THE DEVELOPMENT OF THE TECTONIC SYSTEMS OF THE EARTH'S CRUST

K. F. TYAPKIN*

Introduction

The development of the tectonic structures of the Earth's crust was attributed—by most geologists—to the development of the so-called geosynclines and continental plateaus (BELOUSOV 1962, MIKHAILOV 1970, etc.). These hypotheses have their root in the fact, that there are thick sedimentary parts on the Earth's surface disturbed by intensive foldings and often by orogenic movements. These parts alternate with areas of relatively tranquil tectonism, morphologically characterized by mild structures.

The hypotheses on the development of geosynclines and platforms are not reinforced by a lot of very important regularities. These are: the regularity of the surface distribution of the structures, the straight line of foldings in the geosynclines, the cyclicism of the development of their tectonic system, etc.

Recently, the so-called new global tectonics has become very popular among the specialists (Le PICHON 1968, MORGAN 1968, etc.). Its birth is connected with the wide-spread and intensive examination of the oceanic crust resulting in—formerly unknown—geological and geophysical data. Its popularity is partly due to the crisis of the dominant hypotheses on the structure and development of the Earth's crust, being unable to explain the new data.

In this paper a new hypothesis will be outlined on the development of tectonic structures. This hypothesis is based on the regularities recorded on the Ukrainian shield, but—according to the literature—are existing on other areas as well. Some aspects of this hypothesis are not quite new and have already been published by other authors (KATERFELD 1965; LICHKOV 1965; SOLNTZEV 1963; STOVAS 1963; TYAPKIN and STOVAS 1968; HIANASHVILI 1960; TSAREGRADSKI 1963, etc.).

Herewith, we shall give a short review of the hypothesis.

Initial data

As a result of the complex geological and geophysical investigations carried out on the Ukrainian shield, the following regularities were found in the spatial distribution of the linear tectonic structures—mainly deep fractures:

1. the regional fractures are arranged into definite systems in the shield;
2. each system forms a set of orthogonal fractures with persistent azimuths and the distances between the fractures of similar order are constant;
3. the fractures of different systems, although differ according to their geological properties and age, form similar geometrical networks in certain angles to each other.

* Dniepropetrovsk Mining Institute
Manuscript received 12, 6, 1975.

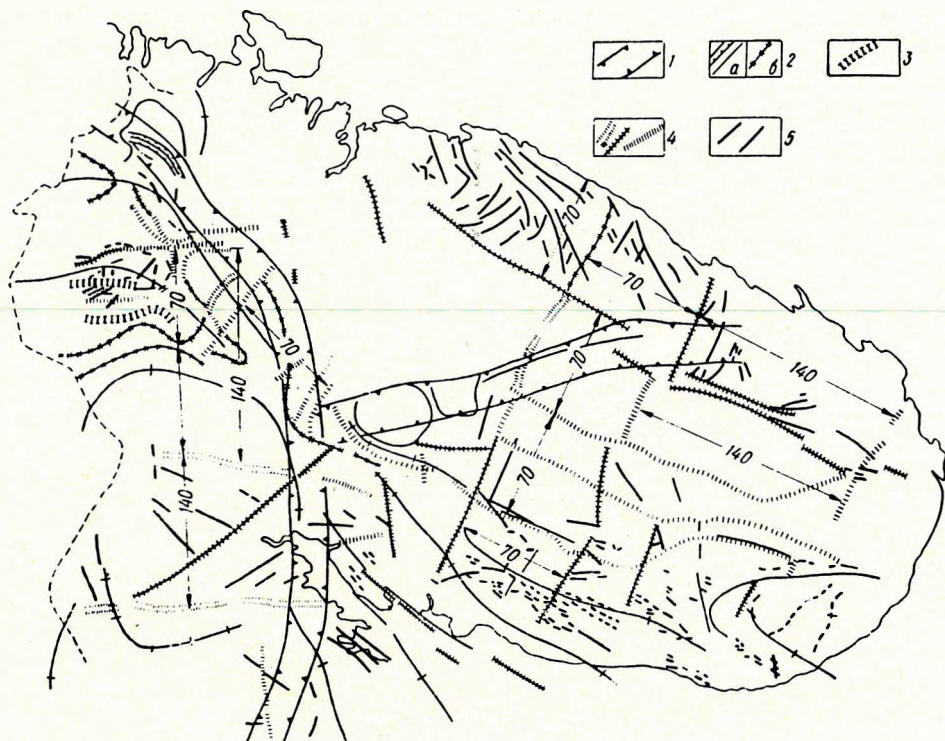


Fig. 2 Deep fracture zones in the Kola peninsula (compiled by TZIRYULNIKOVA et al.) Deep fractures:

- 1 — fractures marking the boundaries of crustal blocks
- 2 — fractures reaching the Moho according to the data of deep seismic sounding (a); fractures coinciding with the high gradient zones of the gravitational field (b)
- 3 — fractures reaching the "granulite-basic" layers
- 4 — fractures in the precambrian basement
- 5 — shallow fractures (distances in kms)

2. ábra. A mélybeli fő törések elhelyezkedésének vázlata a Kola-félszigeten (CIRJULNYIKOVA és munkatársai után)

Mélybeli törések, amelyek: 1. nagy földkéregrögök határainak felelnek meg, 2. elérik a Moho diszkontinuitást a) kéregkutató szeizmikus mérések adatai szerint, b) a nehézségi erőter nagy gradiensű zónáival egybevetve; 3. elérik a „granit-bazalt réteget”; 4. a prekambriumi alapkövetben mutatkoznak meg; 5. kisebb mélységű hasadékok és repedések. A törések közötti távolságok km-ben vannak megadva

Рис. 2. Схема расположения главных разломов на Кольском полуострове (составили Р. Я. Цирульникова, Р. С. Сокол, Э. К. Чечель и Л. Е. Шустова)

Глубинные разломы: 1 — соответствующие границам крупных блоков земной коры, 2 — достигающие поверхности Мохо, по данным ГСЗ (а), совмещенные с зонами больших градиентов поля силы тяжести (б), 3 — достигающие «гранулит-базитового слоя», 4 — проявляющиеся в докембрийском фундаменте; 5 — расколы и трещины небольшой глубины заложения. Интервалы между разломами даны в км.

The above regularities can be identified in other regions as well, see for example the tectonic map of Australia—compiled by E. HILLS (1947). The sketch of the main lineaments is shown in Fig. 3.

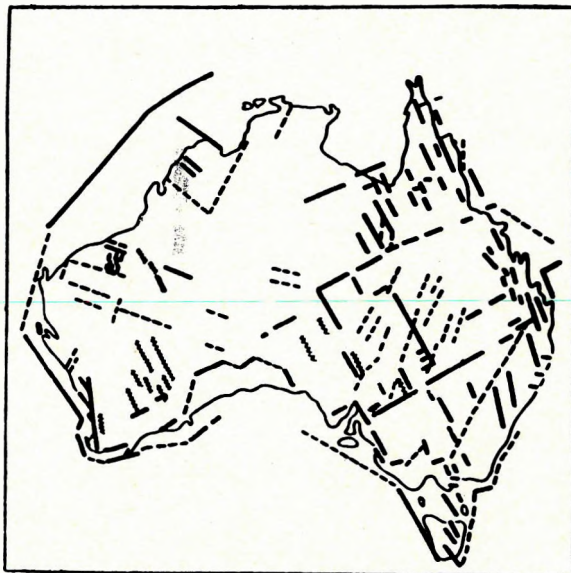


Fig. 3 Fracture system of Australia (after HILLS)
Full and dashed lines mark fractures of different distances, zig-zag lines denote the precambrian structural units

3. ábra. Ausztrália lineamentumainak vázolata [HILLS után]
Polytonos és szaggatott vonalakkal a különböző korú töréseket, hullámvonalakkal pedig a prekambriumi lineáris szerkezeti elemeket szemléltettük

Рис. 3. Схема линеаментов Австралии (По Хиллса).
Сплошными и пунктирными линиями показаны разломы разного возраста, а волнистыми — линейные структурные элементы в докембрии.

The similarity of the above outlined characteristics suggests that they have planetary causes. Moreover it was established that in the Ukrainian shield the directions of the faulted and folded structures harmonize to each other (TYAPKIN 1972). To prove this statement we present a star-diagram in Fig. 4 showing the azimuthal distribution of the strikes in pre-Cambrian rocks in the horizon of the present level of erosion. This diagram represents the strikes of the outcrops, the axes of the linear magnetic anomalies and the strikes of the gravity steps indicating the boundaries of the different erosion level blocks. The close relation between faulted and folded structures proves the common cause of their origin. For instance, the development of linear, nearly vertical, isoclinal folds in the pre-Cambrian rocks can be explained easily by the active drift of the adjacent crustal blocks.

At last, on the Ukrainian shield there are several asymmetric superimposed structures of synclinorium type, built up from the rocks of the Krivoyrog and Konsk-Verkhovtsev series. Undoubtedly, according to the scheme drawn up by J. MOODY and M. HILL (1956), the development of these structures is in connection with the vertical displacement of the blocks. The most important advantage of the scheme that it gives a logical explanation for the development of synclinorium type structures on the rigid base of the crust.

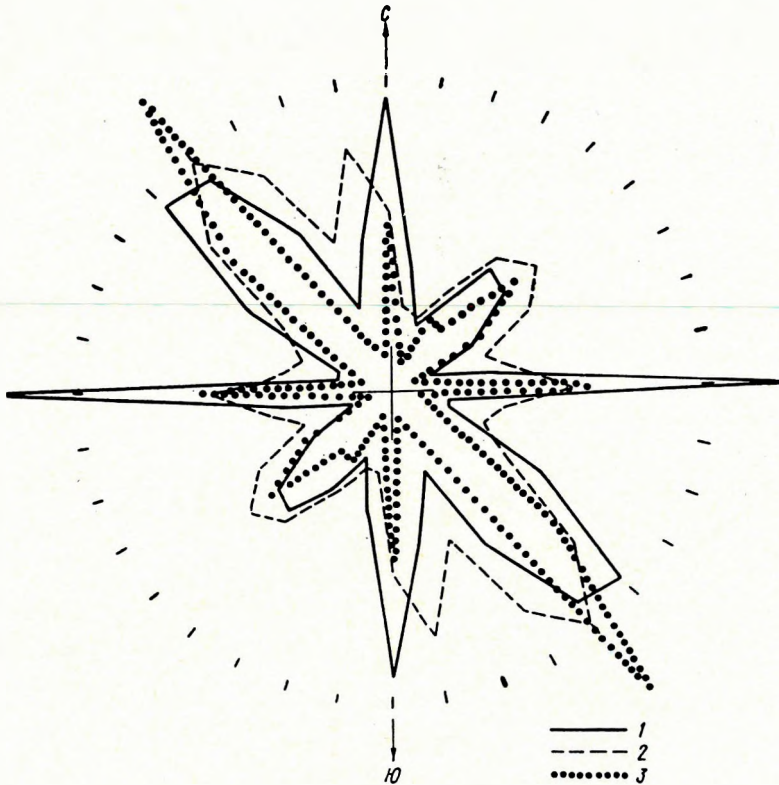


Fig. 4 Polar-diagram of the trends in the Ukrainian shield

- 1 — axial directions of the magnetic anomalies
 2 — strikes of rocks in the outcrops
 3 — strikes of the gravitational steps
 C = North, Ю = South
 (compiled by DASHEVSKAYA and STOVAS)

4. ábra. „Rózsa-diagram” az Ukrán pajzson a következő irányok megoszlásáról:

1. lineáris mágneses anomáliák tengelye; 2. kőzetek csapásiránya kibúvásokban; 3. gravitációs lépcsők csapásiránya; C = Észak, Ю = Dél (készítette: DASEVSKAJA és SZTOVASZ)

Рис. 4. Розы-диаграммы распределения на Украинском щите направлений:

- 1 — осей линейных магнитных аномалий; 2 — простираний пород в обнажениях; 3 — простираний гравитационных ступеней. (Составили Е. А. Дашевская и Г. М. Стовас.)

The sketch of the magnetic field of the KMA (Kursk Magnetic-anomaly) in the Voroniezsh crystalline rocks (Fig. 5) furnishes a further example for the interrelation between the folded and faulted structures. The intensive magnetic-anomalies corresponding to the iron-bearing quartzite veins are marked by dark colours. The iron-bearing quartzite together with the schistose-amphibolitic sequence form synclinorium-type structures. In Fig. 5 it can be seen that these structures are situated according to a certain system which proves that they developed at the borders of the blocks.

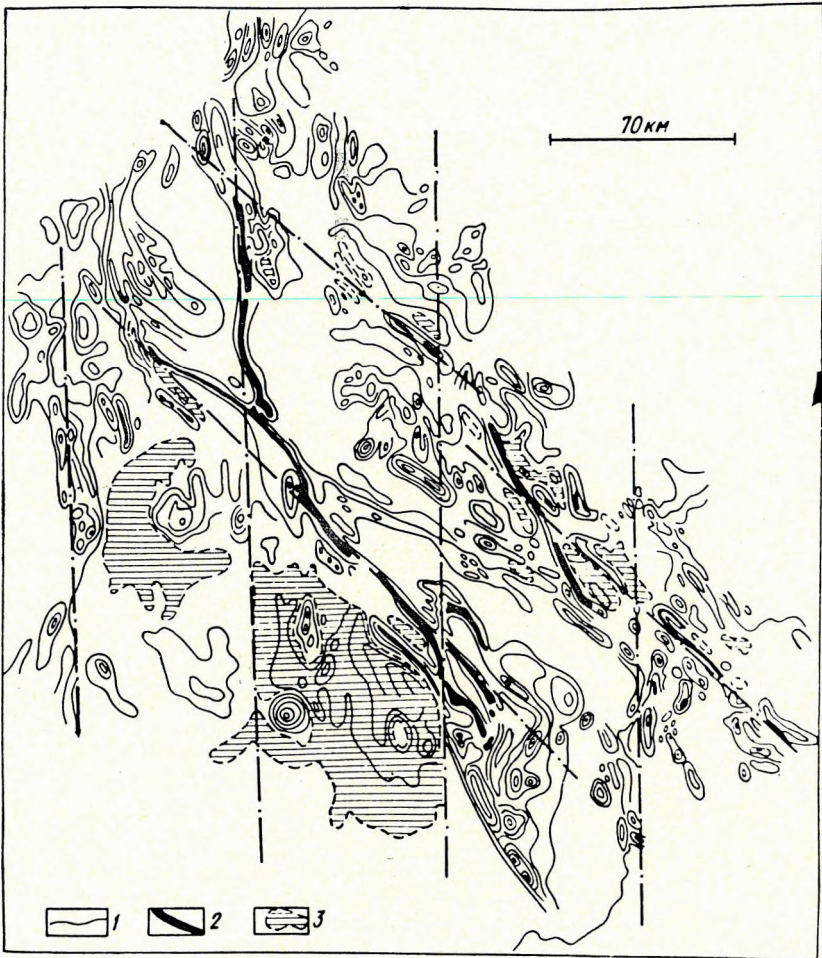


Fig. 5 Sketch of the Kursk magnetic anomaly

1 — isodynam lines; 2 — anomalies greater than 20,000 gamma; 3 — negative anomalies

5. ábra. A kurszki mágneses anomália területén a mágneses tér vázlata

1. Izodinamok; 2. 20 000 gammánál nagyobb intenzitású anomáliák; 3. negatív anomáliák

Рис. 5. Схема магнитного поля района КМА.

1 — изодинамы; 2 — аномалии интенсивностью свыше 20 000 гамм; 3 — отрицательные аномалии

The above objective regularities cannot be explained by any of the known hypotheses concerning the development of tectonic structures, therefore the elaboration of a new hypothesis seemed to be necessary. Moreover, this hypothesis should correspond to most of the known geological regularities or at least it should not contradict them.

The essence of the hypothesis

The shape of the Earth (geoid) is produced by the speed of rotation and the mass distribution. It was a general opinion that the Earth and all planets of the solar system are in state of equilibrium (isostasy). At the same time the astronomical (MIKHAILOV 1970, PARIYSKI 1954, STOYKO 1972, etc.), paleomagnetic and paleoclimatologic (STRAKHOV 1960; HRAMOV and SHOLPO 1967; HRAMOV 1971; Cox and DOEL 1960; SPALL 1972, etc.) data give evidence of the repeated changes of the Earth's rotating system. During the geological epochs among others the angular speed and the location of the rotational axis changed. The shape of the Earth, consequently, must have been adapted to the new rotational conditions. During these periods, probably, tension was produced in the crust, which determined the regularities of the tectonic structures. This theory is advocated by many specialists, but most of them (LICHKOV 1965, STOVAS 1963, TSAREGRADSKI 1963, etc.) attribute dominant role to the change of the angular speed, considering the position of the rotation axis constant.

No doubt, these tensions do exist. Their effect on the development of tectonic structures was examined by M. V. STOVAS (1963, etc.). Without departing from our subject, we note that—in spite of their obviousness—they cannot give interpretation for several phenomena, first of all, for the asymmetry of the linear tectonic structures, to the present position of the rotational axis.

These regularities can be explained by the hypothesis, which considers the tensions in the crust to be released in the course of polar wandering. Such theories have been published in the literature (SOLNTZEV 1963). Because of the well-known paleomagnetic and astronomical data we do not query the being of such tensions, but the connection between the effects caused by the above-mentioned two factors in the development of tectonic structures can be estimated by analytical calculations only.

For the moment, it can be stated that the regularities in the arrangement of tectonic structures prove the role of the tensions produced by the shift of the rotational axis. Therefore, we focus our attention upon the effect of this factor on the development of the tectonic structures of the Earth's crust.

Our knowledge of pole location is based on the paleomagnetic investigations and—in the last hundred years—on the direct astronomical observations. It is known, that the position of the magnetic and geographic poles have generally coincided in the geologic past (calculated in periods of some 10 thousand years) (HOSPERS 1955, etc.). So, the mean position of paleomagnetic poles can be identified with that of the geographic (planetary) poles. Here we cannot discuss the causes why the paleomagnetic data do not allow us to mark out the path of pole shifts, but generally their trends are mentioned only. In Fig. 6a the positions of the poles are shown during the Phanerozoic eon from the paleomagnetic data of the Russian Platform (HRAMOV 1971). Dashed line marks the *trend* of the polar wandering.

To determine the trajectory of polar wandering astronomical data were used. In Fig. 7a the path of the geographic pole for the last few years is given from direct observations. The circular movement of radius 0.1'' and of almost an annual period is apparent. In Fig. 7b a curve can be seen which shows the annual centres of the poles in a 76 years period 1890–1966. These astronomic data prove that the path of the polar wandering consists of a monotonous regional part with 10 cm/year velocity and cyclic effects of one or more decades' order. The regional component

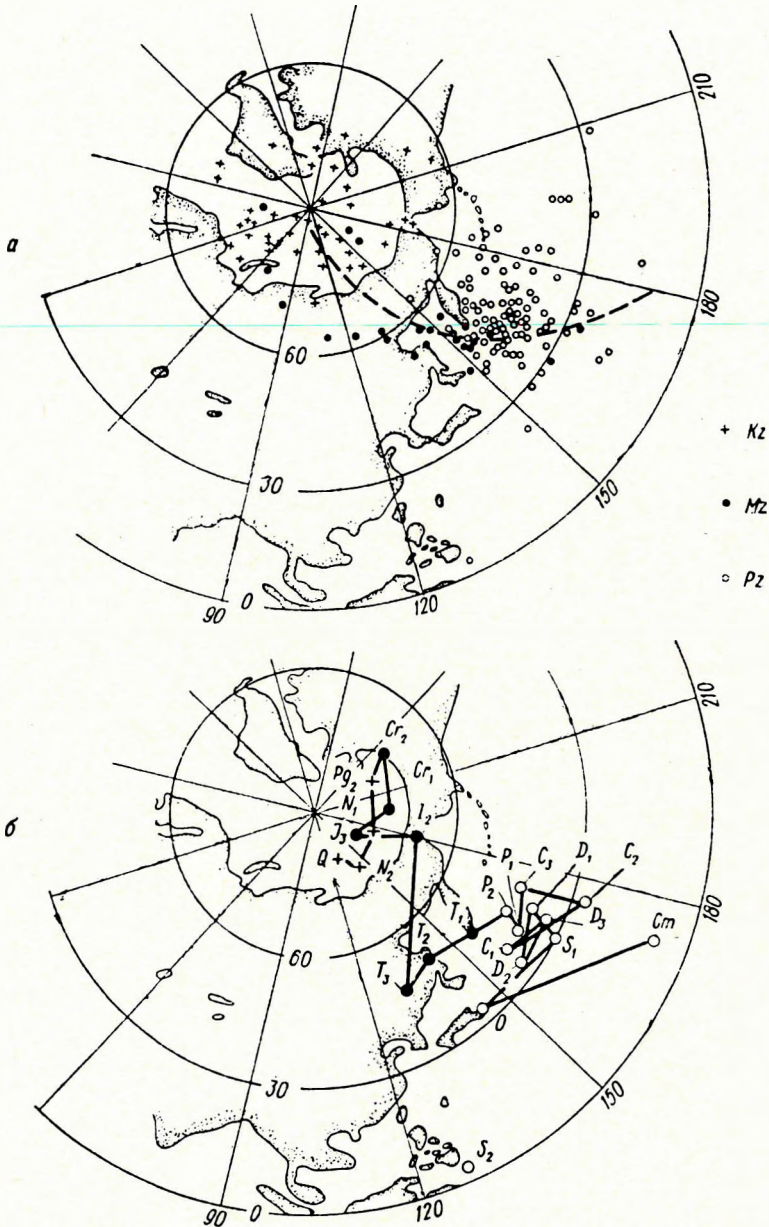


Fig. 6 The positions of poles in the different geologic epochs
 a) according to the paleomagnetic data of the Russian platform
 (from the catalogue compiled by HRAMOV et al.)
 b) mean positions of the poles in the different geologic epochs according to the data of Fig. a)
 + Cenozoic ● Mesozoic ○ Paleozoic

6. ábra. A pólusok helyzete a különböző földtani korokban:
 a) az Orosz táblán végzett paleomágneses meghatározások adatai alapján (HRAMOV et al. tanulmányából); b) a pólusok átlagos helyzete a különböző földtani időszakokban, a fenti adatokból számítva

Рис. 6. Положения полюсов в различные геологические эпохи:
 а — по данным палеомагнитных определений на Русской платформе, заимствованных из каталога А. Н. Храмова и др.;
 б — средние положения полюсов в различные геологические периоды, вычисленные по указанным

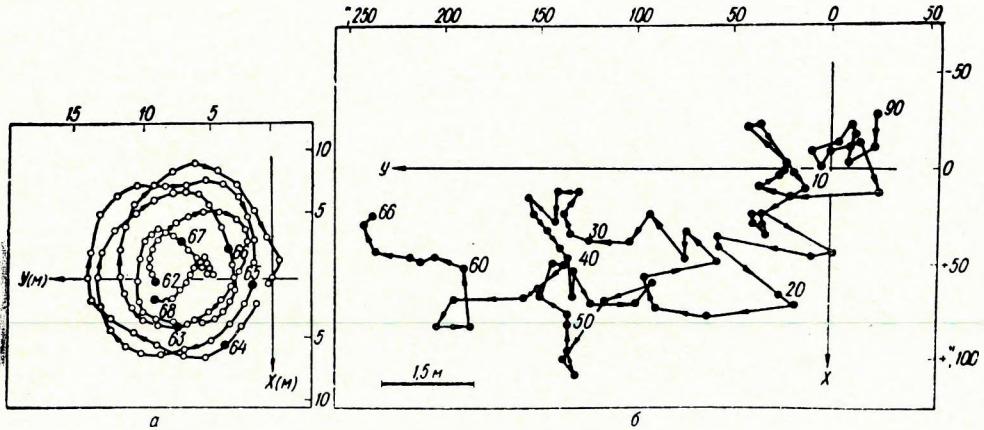


Fig. 7 The trajectory of polar wandering
 a) data of A. A. МИХАЙЛОВ for the years 1962-68
 b) the annual centres of poles between 1890-1966 after A. СТОЙКО

7. ábra. A pólusvándorlás pályája:
 a) МИХАЙЛОВ 1962—1968. közötti adatai alapján; b) СТОЙКО adatai alapján
 a pólusok évi középpontjai 1890 és 1966 között

Рис. 7. К траектории движения полюса:
 а — по данным А. А. Михайлова с 1962 по 1968 г.; б — по данным А. Стойко —
 годовые центры полюсов с 1890 по 1966 г.

represents part of the some hundred years' period arc. Unfortunately, no data are available for the former positions of the poles.

On the basis of the paleomagnetic data concerning the positions of poles in the Phanerozoic eon (Fig. 6a) it can be stated that in certain periods the poles form "clouds"—by a limited degree of scattering. G. M. STOVAS calculated the mean position of the poles in each epoch. The results of this calculations are shown in Fig. 6b. The positions of the pole are linked by straight lines. The result is a polygon of polar wandering which, of course, cannot be considered as its real path. Nevertheless, it proves that the displacement of the pole during the history of the Earth was not monotonous, unidirectional, but is was complicated, loopy, in many features similar to the path determined by recent direct astronomic observations. The regional component shows 1 cm/year mean velocity. Certain loopy formations are superimposed to this, having periods of different order and being characterized by millions of years. These loopy sections of the polygon are composed by the superpositions of the monotonous regional component and the almost circular periodic components of the polar wandering.

H. SPALL (1972) established the complicated, loopy character of the Precambrian polar wandering by paleomagnetic measurements carried out in North America and Africa (Fig. 8). The work of A. V. DOLITSKI and I. A. KRYKO (1963) resulted in a similar trajectory of polar wandering.

Summing up, the path of the geographic polar wandering is similar to an elongated cycloid complicated by high wider loops. This shape makes it possible to find explanation for several known geological regularities. Let us examine the effects of the different components.

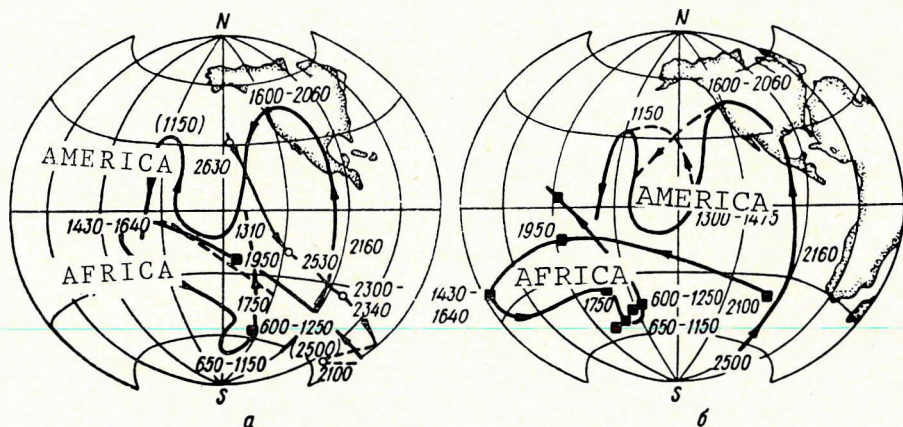


Fig. 8 The trajectory of the precambrian polar wandering (compiled by H. SPALL)
 a) after MCELHINNY et al. b) after BULLARD et al.

8. ábra. A pólusvándorlás pályája; SPALL nyomán
 a) MCELHINNY et al. adatai alapján; b) BULLARD et al. adatai alapján

Рис. 8. Траектория движения полюса в докембрии, построенная Споллом: а — по данным М'Элхини и др.; б — по данным Булларда и др.

The *translative* displacement of the pole, which corresponds to a rearrangement related to the rotational axis of the Earth, demands the restoring of isostatic equilibrium. As a result tensions arise in the crust (Fig. 9). In the two opposite quadrants—in the direction of the polar wandering—compressional zones, in the other two quadrants dilatational zones are produced. With continuous shifting of the poles the tensions are growing until they reach the elastic strength of the crust. At this point the tensions release by means of deep fractures. By the displacement of the great blocks in the crust the isostatic equilibrium of the Earth is more or less restored.

The movement of blocks leads to geosyncline type structures which develop on the rigid base according to the above-mentioned pattern (MOODY and HILL 1956). The rising parts of the blocks are objects of denudation, the sinking parts constitute the areas of accumulation. The fractures in the depth promote active volcanism and the emerging of surplus heat which is one of the most important factors of metamorphism.

Consequently, while the equilibrium of the Earth is restored, the release of tensions produces the most important geologic processes (denudation, accumulation, igneous activity, metamorphism) which cause not only the development of tectonic structures but the formation of different rocks in the crust as well.

The release of tensions is followed by a relatively quiet period when the surface of the Earth gets levelled resulting in the development of platforms while new tensions are accumulating. As soon as these tensions reach the elastic limit, a new epoch of active tectonic rearrangement begins. This epoch will differ from the former one in the position and direction of the compressional and tensional zones, which define the new, strictly determined positions and directions of the new tectonic structures. The time between the two active tectonic phases depends on the angular distance and speed of the translational movement of the poles on the surface.

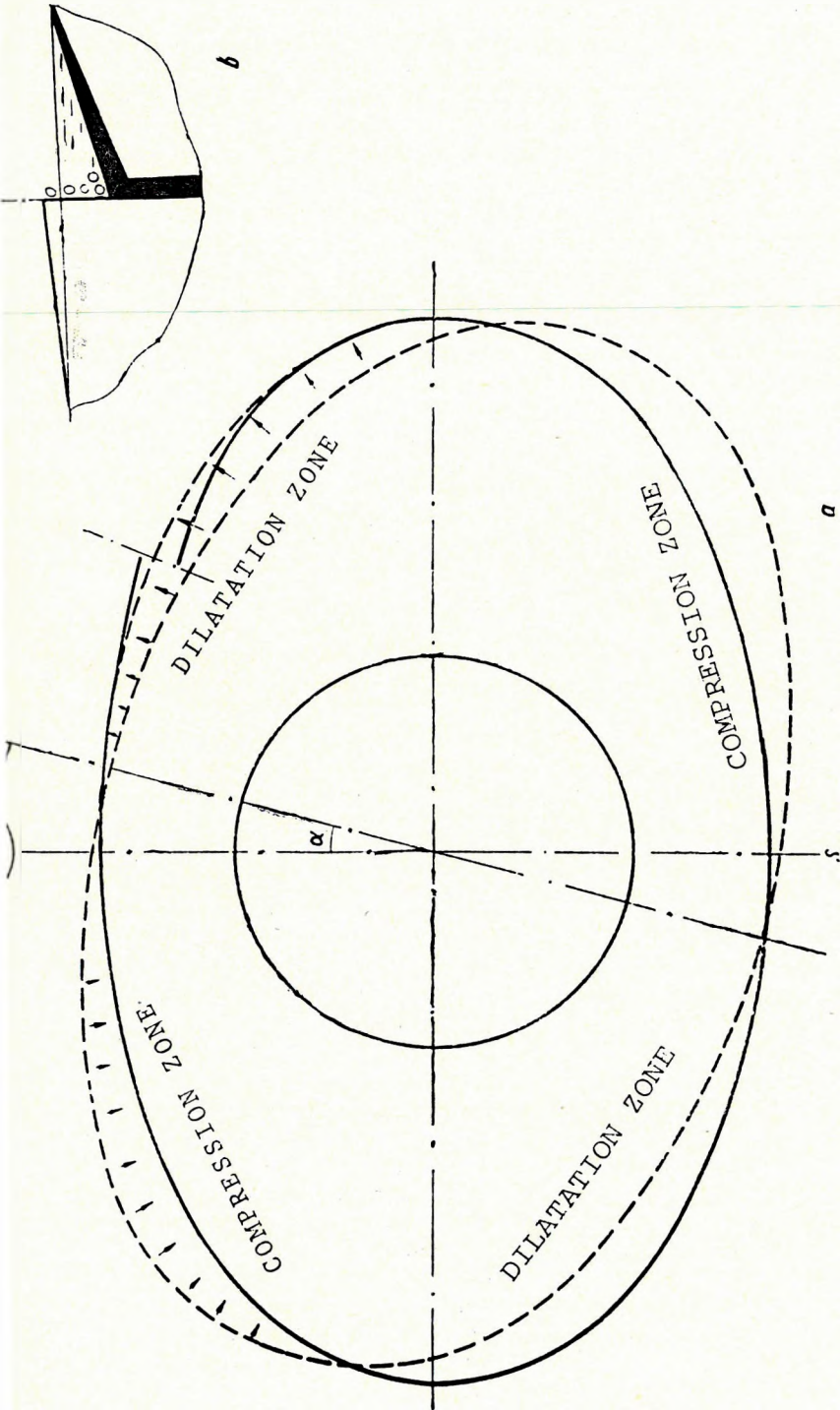


Fig. 9 Tensional zones produced by the shift of the Earth's rotational axis (a) and the sketch of the release of tension in the dilatational zone (b)
 9. ábra. A Föld forgástengelyének helyváltottatásakor keletkező feszültségi zónák megoszlásának vázlatja (a); valamint a feszültségek feloldódásának vázlatja a dilatációs zónában (b)

Рис. 9. Схема распределения напряженных зон, возникающих при изменении положения оси вращения Земли (а), и схема разрядки напряжений в зоне растяжения (б).

The similarity of deep fracture systems of different ages proves that the deformation in the upper zones of the Earth takes place according to uniform laws. This happens, if the regularities of the spatial distribution of the fractures are determined by the elastic properties of a relatively thick, upper zone and not by the sometimes emphasized physical features of the crust.

The *cyclic* components of polar wandering—superimposed to the translational movement—form loops of different order. In the period of the active tectonic rearrangement the principal loop must indicate the inversion of the tectonic structure or some orogenic movements. The different directions along the path correspond to periods of marine transgression and regression. The loops of higher order represent the alteration of sedimentary systems in different epochs and periods.

If the translational movement of the pole explains the *controlled* development of the Earth's crust, the *cyclicity* of geologic processes is the result of cyclic polar wandering of different order.

According to the present hypothesis the close relation between faulted and folded structures becomes evident. The development of both structures are controlled by the release of the same tensions in the upper part of the Earth.

Now, we have outlined only the frame of the hypothesis. The geologic processes are undoubtedly much more complicated than the described scheme. Restoring of isostatic equilibrium could happen not only through mechanical movements of crustal blocks, but through the change of density as a result of intrusive or extrusive activity or some physico-chemical processes in the mantle.

Up to now it was not necessary to mention any other processes taking place in the mantle. Presuming their existence it is supposed, that—together with other geologic processes—they constitute a reaction against certain external forces which swing out the Earth from the state of isostasy.

We do not know about the origin of the forces which produce the displacement of the rotational axis related to the surface. As a matter of fact this question has no importance from the practical point of view, because the position of poles are given by paleomagnetic investigations and astronomical observations. At the same time, however, it is noted that the most probable source of forces producing the displacement of the rotational axis is the heterogeneous magnetic and gravitational field in the outer space.

The Earth—after being swung out from the state of isostasy by these forces—strives for restoring it under the effect of rotational forces. This effort results in the above-mentioned deformations of the Earth's crust and the attending characteristic geologic processes. These latter ones are not discussed here.

Relation of the proposed hypothesis to former ones

First of all, we have to determine the relation between the proposed hypothesis on the development of tectonic structures and the hypothesis of geosynclines. In spite of the modifications of our conventional ideas about the development of geosynclines, one thing has remained unchanged: the efforts of the authors to explain the origin of these structures by the effect of internal forces.

The proposed hypothesis is characterized by tracing back the development of crustal tectonic structures to planetary laws. Moreover, it regards the Earth as a planet which—in certain extent—depends on the space of the surrounding objects.

This means, that the external effects have undoubtedly a dominant role. The only open problem is the relative importance of these external effects in the development of tectonic structures. At the same time, the proposed rotation hypothesis does not contradict the available data related to the geosynclines and platforms. Moreover, it helps to understand the causes of their origin and the properties of their development on a rigid base.

Isostasy constitutes a pillar of the hypothesis at issue. The isostasy of the Earth means the state of equilibrium which corresponds to the effective mass distribution and angular velocity of rotation.

The relation between the proposed hypothesis and the global tectonics can be characterized as follows: in the present stage of investigations it is quite indifferent, whether the plate is moving compared to the axis of rotation, or the axis is moving compared to the plate. Though the displacement of the outer shell compared to the inner parts of the Earth is more imaginable than the displacement of certain plates similarly differentiated, the discussed hypothesis does not contradict the concept of the new global plate tectonics. More exactly, in its present state it can be regarded as a specific expansion of it, applied to the evolution of the inner structure of certain plates derived from their displacement.

Further study of the regularities of the spatial distribution of linear tectonic structures in the different plates will lead us to the possibility of determining their displacement.

Further tasks

To improve the proposed hypothesis the following tasks are to be done:

1. study of linear tectonic structures for extensive areas, in order to find the global structures;
2. determination of the most probable trajectory of the axis of rotation on the Earth's surface;
3. calculation of tensions in the crust in the different geologic epochs by the supposed contemporaneous position of the axis of rotation;
4. comparison of the tensional space with tectonic structures.

Finally it should be noted, that in course of investigations some of the described statements will be corrected and concretized, but the basis of the hypothesis—owing to its obviousness—must remain unchanged.

REFERENCES

- BELOUSOV, V. V. 1962: The Main Problems of Tectonics. Gosgeolizdat, Moscow, pp. 253-262. (In Russian)
- CHEBALENKO, I. I., 1972: DAN URSSR, 2 (B), pp. 124-127
- COX, A. — DOEL, R., 1960: Bull. Geol. Soc. Amer., 71. No. 6, pp. 645-768
- DOLITZKI, A. V. — KIRKO, I. A., 1963: Problems of Planetary Geology. Gosgeoltekhizdat, Moscow, pp. 291-311 (In Russian)
- HILLS, E. S., 1947: Tectonic patterns in the Earth's Crust. Presidential Address; Section C. Aust. and N. L. Assoc. Adv. Sci. Perth
- HISANASHVILI, G. D., 1960: Dynamics of the Earth's Rotation Axis and of Ocean Levels. Tzodna, Tbilisi, pp. 7-14 (in Russian)
- HOSFERS, I., 1955: J. Geol. No. 63, pp. 59-75
- HRAMOV, A. N. — SHOLPO, L. E., 1967: Paleomagnetism. Nedra, Moscow, pp. 90-148 (in Russian)

- HRAMOV, A. N., (Ed.) 1971: Paleomagnetic Directions and Paleomagnetic Poles. Izd. VNIGRI, Leningrad (In Russian)
- KATERFELD, G. N., 1965: The Earth's Shape and its Origin. Nauka, Moscow (in Russian)
- LICHKOV, B. L., 1965: Contribution to the Principles of the Earth's Modern Theory. Nauka, Moscow (in Russian)
- MIKHAILOV, A. A., 1970: Astronom. Journal, 47, No. 6, pp. 1296–1299 (in Russian)
- MOODY, J. — HILL, M., 1956: Bull. Geol. Soc. Amer. 67, No. 9, pp. 1207–1246
- MORGAN, W. J., 1968: J. Geophys. Res. 73, No. 6, pp. 1959–1982
- OBUEV, J., 1967: Geosynclines. Mir, Moscow, pp. 11–14 (in Russian)
- PARIYSKI, N. N., 1954: Irregularities in the Earth's Rotation. AN SSSR, Moscow (in Russian)
- LE PICHON J., 1968: J. Geophys. Res. 73, No. 12, pp. 3661–3697
- SOLNTZEV, A. V., 1963: Vestnik AN Kaz. SSR, 6, pp. 51–56
- SPALL, H., 1972: 24th International Geol. Congress, Sec. Tectonics, Montreal, pp. 172–179
- STOVAS, M. V., 1963: In: Problems of Planetary Geology. Gosgeoltekhizdat, Moscow, pp. 222–274 (in Russian)
- STOYKO, A., 1972: Vistas in Astronomy, 13, pp. 51–134
- STRAKHOV, N. M., 1960: Izv. AN SSSR, 3, pp. 3–25
- TOKARYEV, V. A., 1968: In: Geological Structure, Evolution and Ore-bearing of the Kola Peninsula. Izd. AN SSSR, Moscow, pp. 37–46 (in Russian)
- TSAREGRADSKI, V. A., 1963: In: Problems of Planetary Geology. Gosgeoltekhizdat, pp. 149–221 (in Russian)
- ТЯПКИН, К. Ф. — СТОВАС, Г. М., 1968: DAN URSR, 5 (B), pp. 438–440
- ТЯПКИН, К. Ф. (Ed.), 1972: Geological and Geophysical Study of Precambrian Tectonics. Nedra, Moscow, pp. 138–244 (in Russian)

ТЯПКИН К. Ф.

ÚJ ROTÁCIÓS ELMÉLET A FÖLD TEKTONIKAI RENDSZEREINEK MAGYARÁZATÁRA

Az Ukrán pajzs törérendszerének vizsgálatából kiindulva a földkéregben fellépő ciklikus feszültségfelhalmozódás és kioldódás folyamatát a Föld forgástengelyének eltolódására vezeti vissza. A forgástengely változásának okát a külső mágneses és gravitációs tér heterogenitásának tulajdonítja. A forgástengely eltolódása kilendíti a Földet izosztatikus egyensúlyi helyzetéből. Az egyensúlyi állapotba való visszaállítás hozza létre a nagytektonikai szerkezeti formákat és ez magyarázza azok szabályos rendszerét az egész Földön.

ТЯПКИН К. Ф.

НОВАЯ РОТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Исходя из изучения систем разломов Украинского щита, автор связывает циклический процесс накопления и развязывания напряжений в земной коре с перемещением оси вращения Земли. Причина этого изменения положения оси вращения объясняется неоднородностями внешнего магнитного поля и поля силы тяжести. Перемещение оси вращения Земли приводит к нарушению изостатического равновесия Земли. Процесс восстановления равновесия обуславливает макротектонические структурные формы и тем самым объясняется и регулярная система последних по всей Земле.

ON THE POSSIBILITIES OF TRACING LITHO-STRATIGRAPHICAL CHANGES OF SANDSTONE BODIES

É. KILÉNYI-SZABÓ AND Zs. HEGYBÍRÓ-ROMÁN*

I. Introduction

The sedimentary conditions, genetics, lithological and stratigraphical changes of sandstone reservoirs got into the foreground of interest in petroleum exploration. In Hungary as well—with the possible decrease of unexplored oil and gas bearing structures—exploration for stratigraphical traps deserves ever growing attention.

The variable reservoir properties of Lower Pannonian sandstones raise correlation problems. With the routine seismic field- and processing technique the sandstone layers cannot be separated, geological identification of reflecting horizons is nearly impossible. To detect the lateral changes of sandstone bodies was regarded as hopeless.

To investigate these problems, the Hungarian Oil and Gas Trust started a methodological research program in co-operation with the R. Eötvös Geophysical Institute. In the followings a progress report is given.

II. Correlation problems of electric and acoustic logs

In the literature a good many articles deal with the problem of genetical conditions of sandy-argillaceous sedimentary complexes and with the connection of physical parameters on depositional environments of sandstone bodies. Grain size distribution, sorting, sand/shale ratio etc. are genetical characteristics and at the same time they determine the nature of the log curves.

SAITTA and VISHAR (1968) published a suggestive graph of the PS log patterns representing various shallow marine, deltaic and fluvial environments (Fig. 1). Lately the GR curves are treated similarly. The relationship between genetics and acoustic logs is much more problematic, especially in the case of logging without well-compensation, where a higher noise level has to be taken into consideration. Nevertheless we suppose that stratigraphical changes effect the acoustic logs as well. Without the validity of this supposition no sign of stratigraphical changes could be expected in seismic records.

According to the above described scheme the similarities and differences of electric logs were examined first. On the area, in the southern part of the Great Hungarian Plane, selected for the investigations, three different types of sandstone bodies occur, as presented on Fig. 2. Comparing them with the classification types set by Saitta and Visher, the meander belt point bar, deltaic deposits from primary

* Roland Eötvös Geophysical Institute, Budapest
Manuscript received: 23, 4, 1976

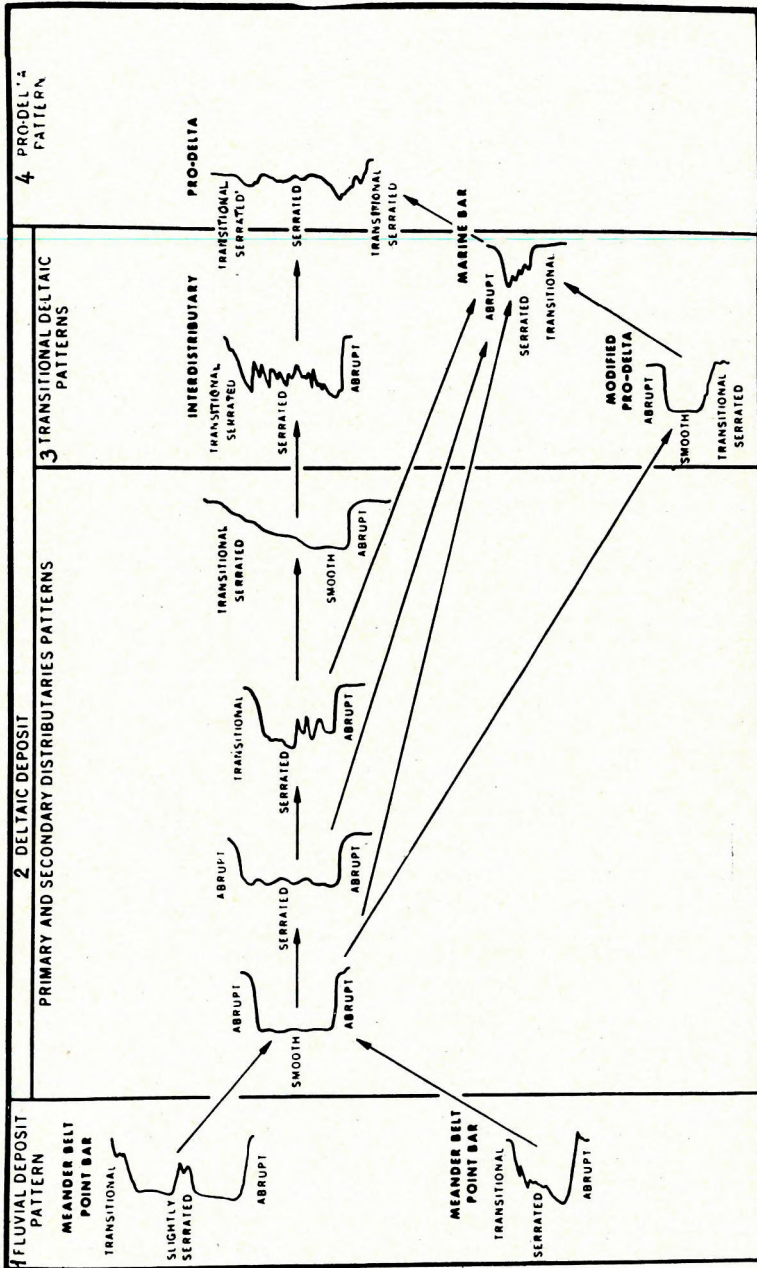


Fig. 1 SP log patterns representing various sedimentary environments (from SAITTA and VISHER, 1968)

1. ábra. Különböző üledékképződési körülményekre jellemző PS-szelvények (SAITTA és VISHER, 1968)
 1. folyami üledék meanderes kúp-gát 2. deltaüledék elsődleges és másodlagos folyóágak 3. átmeneti deltaüledék folyóágak közötti szakasz; módosult delta előtti üledékek 4. delta előtti üledékek 3—4. tengeri gát homokkő
 (transitional = átmeneti; abrupt = éles; smooth = éles; serrated = fogazott)

Рис. 1. Кривые ПС, характерные для различных условий осадконакопления (по САЙТТА и ВИШЕР, 1968)
 1 речные отложения меандрический конус 2 дельтовые отложения первичные и вторичные русла рек
 3 переходные дельтовые отложения участок между руслами рек; измененные отложения перед дельтой
 4 отложения перед дельтой 3—4. речные песчаники
 (transitional = переходные; abrupt = острые; smooth = плоские; serrated = зубчатые)

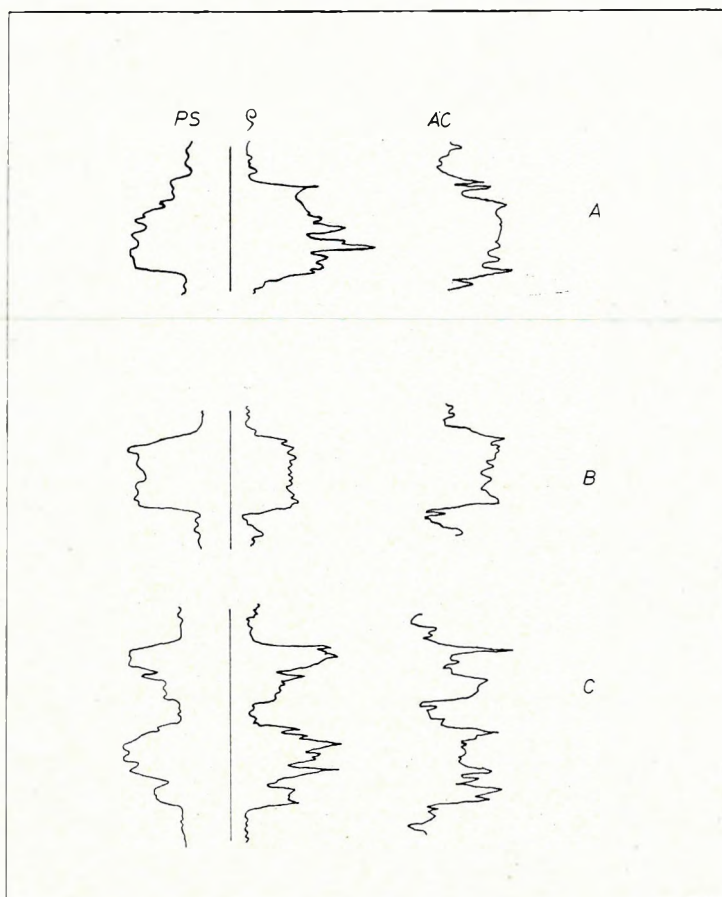


Fig. 2 Typical SP, resistivity and acoustic logs in the area of investigation
A. meander belt point bar, B. deltaic deposits, C. marine bar

2. ábra. Jellegzetes PS-, ellenállás- és akusztikus szelvények a kutatási területen
A. meanderes kúpgát, B. delta-üledékek, C. tengeri gát-homokkő

Рис. 2. Типичные для района работ кривые ПС, ЭК и АК
А. меандрические осадки; В. дельтовые осадки; С. морские осадки

and secondary distributaries and marine bar sandstones can be recognized. The last one is the most widely spread on the area. The characteristic features are best seen on the parts of greatest thickness; on the margins of the bodies they are obscured.

Sandstone bodies, correlated by over- and underlying marls can have different log patterns. Whether these changes are due to facial differences or the sandstone bodies are separated from each other cannot be decided yet. In both cases however detection of alterations contribute to further petroleum exploration.

Correlation of electric logs is routinely done visually. In one of the sandstone layers of our area, prominent differences can be observed in wells of not more than 1-2 km apart. The logs can be grouped into two types separated by a line of nearly N-S direction. Representative logs of the two types are presented in Fig. 3. The

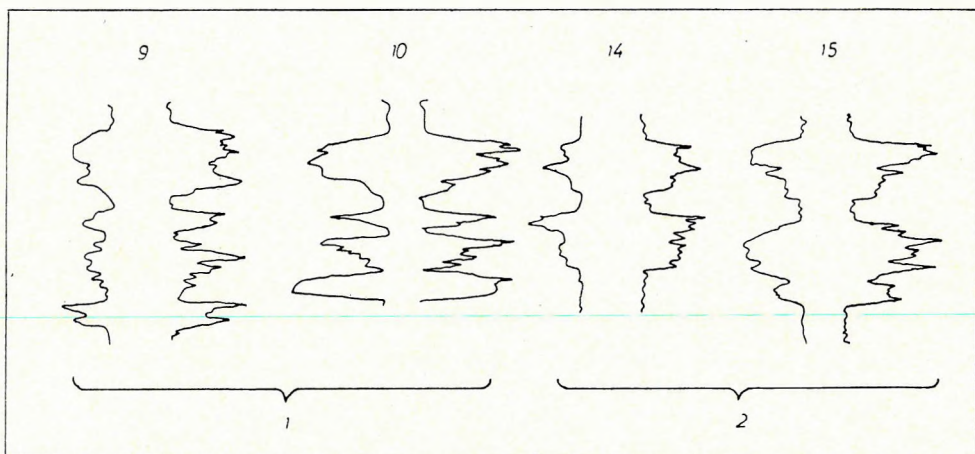


Fig. 3 Representative SP and resistivity logs of a sandstone layer, subdivided into two groups
1. western area, 2. eastern area

3. ábra. Egy kettéosztott homokkőszint jellegzetes PS- és ellenállásszelvényei
1. nyugati terület, 2. keleti terület

Рис. 3. Типичные кривые ПС и сопротивления песчаного пласта, подразделенного на две части:
1. западный район, 2. восточный район

division of the sandstone layer into two parts was checked by mathematical correlation.

A special cross-correlation program was compiled, in which the selected time window on the first curve can be extended by any desired rate. Supposing, that the thickness of the sandstone body changes linearly, this program eliminates the decrease of the correlation coefficient due to the thickness variations. Considering the remarkable results, it seems that this supposition is permissible.

Two logs from both the western and eastern areas were selected for the cross-correlation, which visually correlate well. These are from the western area logs 9 and 10, from the eastern logs 14 and 15. From the eastern area of larger spread a log was chosen (No 12) which had the worst correlation to the type 14, and at the same time the best to the western type. The cross-correlation was computed for both PS and the normal resistivity logs. Fig. 4 is a presentation of typical correlation curve series versus extension rate for PS and resistivity logs respectively. Results of the correlation computations are presented in Table I. It can be seen, that the correlation values of 0.74–0.82 on the PS logs, and 0.68–0.75 on the resistivity logs mark out the relationship between boreholes.

As our ultimate purpose is the interpretation of seismic cross sections, similar investigations were made for the acoustic logs as well. Results of correlation computations of acoustic logs are presented in Table I. No definite similarities could be proved either by eye or by the mathematical correlation between logs of related boreholes. Although sand layers can be correlated, their characteristics are masked by the superimposed noise to such an extent that they are unrecognizable. Notwithstanding all suitable acoustic logs were transformed to synthetic seismograms. Computations were carried out with high precision (sampling interval: 0.2 m, one

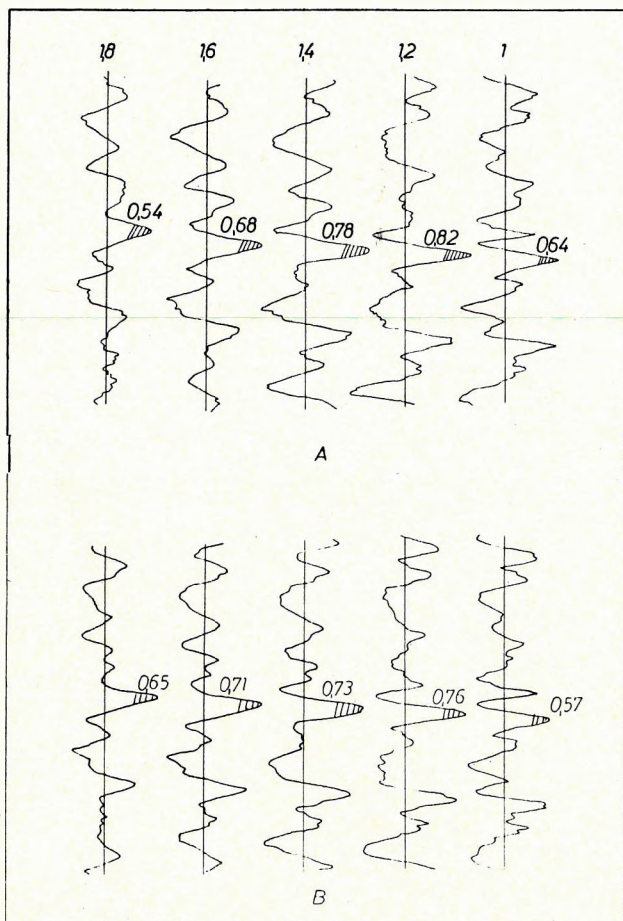


Fig. 4 Correlation graph of the investigated sandstone layer, eastern part (boreholes 14 and 15) A. SP logs, B. resistivity logs

4. ábra. A vizsgált homokkőszint korrelációs görbéi (keleti csoport, 14. és 15. sz. fúrások)
A. PS-görbék korrelációja; B. ellenállásgörbék korrelációja

Рис. 4. Кривая корреляции изучавшегося песчаного пласта, восточная часть (скважины 14 и 15)
А. кривые ПС; В. кривые сопротивлений

way time interval 0.125 msec, noise filtering by 100 m/sec threshold), for convolution 80 and 54 Hz symmetric Ricker wavelets were used. These frequencies were the median values of the bandpass filters applied to an experimental seismic profile in the area.

The results are presented on Fig. 5 for two selected sandstone bodies. It can be seen, that although no outstanding similarity can be found between interval velocity curves, the synthetic seismograms using 80 Hz wavelet can be separated into two groups. In the case of 54 Hz wavelet, the same phenomenon appears under

Table I
1. Táblázat
Таблица 1

Borehole	Log	Correlation peak	Extension rate	Note
Fúrás	Karotázs görbe	Korreláció csúcsértéke	Nyújtási arány	Megjegyzés
Скважина	Вид каротажа	Пик корреляции	Пропорция растяжения	Примечания
10—9	PS RES AC	0,78 0,68 —	1.2	1. Two typical logs of the western group
14—15	PS RES AC	0,76 0,82 0,52	1.2	2. Two typical logs of the eastern group
14—12	PS RES AC	0,75 0,71 0,60	1.2	3. Least similar two logs of the eastern group
10—14	PS RES AC	0,56 0,49 0,70	0,8	4. Typical logs of the western and eastern groups respectively
10—12	PS RES AC	0,57 0,50 0,58	0,9	5. Most similar logs of the western and eastern groups

1. A nyugati csoport két tipikus karotázsgörbéje
 2. A keleti csoport két tipikus karotázsgörbéje
 3. A keleti csoport két legkevésbé hasonló karotázsgörbéje
 4. A nyugati és keleti csoport egy-egy jellegzetes karotázsgörbéje
 5. A nyugati és keleti csoport egymáshoz leghasonlóbb karotázsgörbéje
1. Две кривые, типичные для западной группы
 2. Две кривые, типичные для восточной группы
 3. Две наименее подобные кривые восточной группы
 4. Типичные кривые западной и восточной групп, соответственно
 5. Наиболее подобные кривые западной и восточной групп

favourable conditions only, such as on the upper sandstone, boreholes 15 and 12. The thinning out of the sandstone layer—borehole 14—causes the characteristic signal form to fade away.

The similarity of 80 Hz synthetic seismograms was checked by mathematical correlation as well. The possibility of window-extension was not exploited this time, because arbitrary similarity can be obtained by it in such a case. Results of cross correlation computations are presented in Table II. The principles of selecting curves for correlation were the same as before: correlation was sought between pairs of two similar and differing curves respectively. The results were surprising; after the low correlation coefficient of the interval velocity logs, we did not dare to hope such a good correlation between synthetic seismograms. It seems, convolution filtered noise and enhanced signal character.

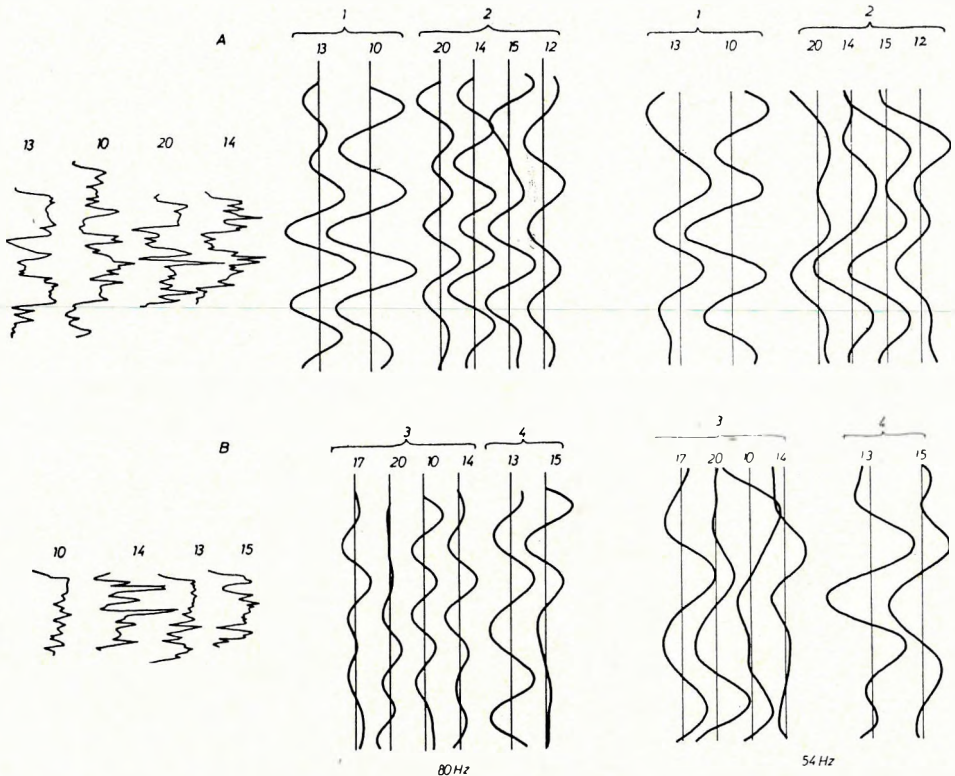


Fig. 5 Comparison of synthetic seismograms and interval velocity logs for two subdivided sandstone layers

A. upper layer, 1. western part, 2. eastern part B. deeper layer, 3. northern part, 4. southern part

5. ábra. Intervallumsebesség-görbék és szintetikus szeizmogramok két kettéosztott homokkőszintre

A. sekélyebb szint; 1. nyugati terület; 2. keleti terület

B. mélyebb szint; 3. északi terület; 4. déli terület

Рис. 5. Сопоставление синтетических сейсмограмм и графиков интервальных скоростей для двух подразделенных песчаных слоев

A. верхний слой, 1. западная часть, 2. восточная часть; B. нижний слой, 3. северная часть, 4. южная часть

III. Conclusions

As a result of our investigations it can be stated that there is hope to reach our set target that is to say to trace the stratigraphic changes in the seismic time section. It is proved by the synthetic seismograms that the theoretical possibility for detection wave form changes exists. At the same time it was revealed as well, that frequency ranges must be shifted towards the higher frequencies. High frequencies cause lots of problems both in field technique and data processing, still we must cope with them to reach our aims.

Our further experiments will be aimed at rendering our results applicable in practice.

Acknowledgement

We would like to express our thanks to the research staff of the Hungarian Oil and Gas Trust who made it possible to publish our results and helped us with data and advice.

Table II
II. Táblázat
Таблица 2

Borehole	Correlation peak	Note	
Fúrás	Korreláció csúcserőke	Megjegyzés	
Скважина	Пик корреляции	Примечания	
window			
ablak			
окно			
10—13	0.94	1. Typical synthetic seismograms of the western group	} SHALLOWER SANDSTONE
14—20	0.96	2. Typical synthetic seismograms of the eastern group	
10—14	0.51	3. Typical synthetic seismograms of the western and eastern groups resp.	
13—15	0.88	4. Typical synthetic seismograms of the southern group	} DEEPER SANDSTONE
14—10	0.91	5. Typical synthetic seismograms of the northern group	
14—13	0.66	6. Typical synthetic seismograms of the northern and southern groups resp.	

1. A nyugati csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
 2. A keleti csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
 3. A nyugati és keleti csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
 4. A déli csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
 5. Az északi csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
 6. Az északi és déli csoport tipikus szintetikus szeizmogramjai
- 1—3. Sekélyebb homokkőcsoport
4—6. Mélyebb homokkőcsoport

1. Синтетические сейсмограммы, типичные для западной группы
 2. Синтетические сейсмограммы, типичные для восточной группы
 3. Синтетические сейсмограммы, типичные для западной и восточной групп, соответственно
 4. Синтетические сейсмограммы, типичные для южной группы
 5. Синтетические сейсмограммы, типичные для северной группы
 6. Синтетические сейсмограммы, типичные для северной и южной групп, соответственно
- 1—3. Менее глубоко залегающие песчаники
4—6. Более глубоко залегающие песчаники

BIBLIOGRAPHY

- BARTHA F. et al. (1971): A magyarországi pannonkori képződmények kutatásai. Akadémiai Kiadó, Budapest
- DEDMAN, E. V. et al. (1975): Stratigraphic modeling. Geoquest International Ltd.
- GOTAUTAS, V. A. (1972): Southwest Lake Arthur Field. . . . from "Stratigraphic Oil and Gas Fields" SEG. Spec. Publ. Tulsa, Oklahoma, USA
- HARMS, J. C., TACKENBERG, P. (1972): Seismic Signature of Sedimentation Models. Geophysics, 37. 1.
- JAGELER, A. H., MATUSZAK, D. R. (1972): Use of Well Logs and Dipmeters in Stratigraphic-trap Exploration, from "Stratigraphic Oil and Gas Fields" SEG. Spec. Pbl. Tulsa, Oklahoma, USA
- LAWS, W. R. et al. (1975): A Study of the Acoustic and Density Changes. . . . Dresser Atlas OKGTGKÜ I—2, I—13, 108, 113 sz. Jelentések. Kézirat.
- SZ. KILÉNYI ÉVA (1975): A szintetikus szeizmogram számításának pontossági követelményei. Magyar Geofizika, XVI. 3
- WIDESS, M. B. (1973): How Thin is a Thin Bed? Geophysics, 38. 6

SZ. KILÉNYI ÉVA, R. HEGYBÍRÓ ZSUZSANNA

MÓDSZERTANI KÍSÉRLETEK HOMOKKŐSZINTEK LITOSZTRATIGRÁFIAI VÁLTOZÁSAINAK NYOMONKÖVETÉSÉRE

Egy délalföldi kőolajkutató terület korrelációs problémáinak megoldására az OKGT az ELGI-vel együttműködve módszertani kísérleteket kezdeményezett, amelynek eredményeiről számolunk be. A homokkőszintek litosztratifráfiai változásait PS, ellenállás és akusztikus karotázsgörbék segítségével vizsgáltuk. Míg az első kettő szemre és matematikai korrelációval is kimutathatóan jelzi a változásokat, az akusztikus görbék jellegét a zaj elnyomja. Az akusztikus görbékben szintetikus szeizmogramokat számítottunk 54 és 80 Hz-es szimmetrikus Ricker wavellet alkalmazásával. A nagyfrekvenciás szintetikus szeizmogramok határozottan jelzik a jellegváltozásokat.

Э, КИЛЕНИ С. — Ж. ХЕДЬБИРО Р.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ЛИТО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕСЧАНЫХ ГОРИЗОНТАХ

Для решения проблем, связанных с корреляцией и возникших в одном из нефте-разведочных районов южной части Большой низменности, по инициативе Треста нефтяной и газовой промышленности, в сотрудничестве с Геофизическим институтом им. Л. Этвеша, были проведены методические работы, результаты которых рассматриваются в настоящей работе. Лито-стратиграфические изменения в песчаных горизонтах изучались по данным метода ПС, ЭК и АК. В то время, как по данным первых двух методов отчетливо отмечаются изменения как на взгляд, так и по математической корреляции, характер кривых АК искажается за счет наличия помех. По кривым АК были составлены синтетические сейсмограммы с использованием волн Рикера на частотах 54 и 80 гц. На высокочастотных синтетических сейсмограммах хорошо выделяются изменения.

ESTIMATION ERROR OF INTERVAL VELOCITIES AND THE GEOLOGICAL MODEL

I. KÉSMÁRKY*

The enormous volume of data obtained in course of geophysical measurements excludes the possibility of building up a geological model which was in complete conformity with all the measured data. Namely, this would imply that the number of parameters of the model ought to be equal to that of the measured data which would lead to an untractably large system of equations.

In seismic practice it has been known for a long time that instead of assuming an overcomplicated geological model structure in order to fit the measured data, it is always better to solve strongly overdetermined systems of equations. The discrepancies between the measured data and the theoretical results obtained from the simplified ideal model can be resolved by introducing the concept of noise. The less the known connection between the geological model and the measured data, the more the effect of the noise should be considered. This does not mean however that a proper understanding of the effect of the ever more intricated geological models would help us to reduce noise beyond limits. Since there is no cause-effect relation between the statistical error of measurement and the geological model, the concept of noise cannot be eliminated. On the other hand, there are no exact mathematical interpretation rules but for the most simple cases, i.e. there is an inverse correlation between the increasing number of parameters and the reliability of their estimation. Consequently, there are principal obstacles to the determination of very complex geological structures.

In this situation it seems to be a realistic compromise to adopt an interpretation strategy so that the deteriorating effect of noise on the evaluated parameters is minimal. More precisely, one has to find a geological model for which a maximum amount of information is contained in the measured data.

The information gained about the model parameters is defined as the change in their indeterminacy (entropy) as a consequence of their measurements. Beyond the solution of the given, undisputable equations, the above-said thoughts should serve as an objective mathematical model for the interpreter's professional conscientiousness. (Here we have in mind SLOTRICK's classical formulation: "The responsibility of the geophysicist rests in interpreting the data, making sections, drawing conclusions of a physical-geometric nature... He should know, and be honest in transmitting, the value and limits to this conclusion. Then and only then does he do his full duty.")

The logically correct interpretation methods are based on three assumptions (for a more exact formulation see e.g. GOLTZMAN 1975, SALÁT and DRAHOS 1973, 1975):

1. Idealization of the measured data;
2. Idealization of the geological conditions, selection of an appropriate model;

* Geophysical Prospecting Company of the Hungarian Oil and Gas Trust, Budapest
Manuscript received: 13, II, 1975

3. An appropriate transformation between the measured data and the geological model.

The aim of the present paper is to investigate the factors effecting the estimation of the interval velocities and to determine the dispersion of the values obtained as a function of the above-mentioned factors. The significance of the problem has already been emphasized by ANSTREY (1973). Model experiments will be presented, showing the connections between the statistical errors and the complexity of the geological model. The optimal number of parameters to be determined will be shown to depend on the quantity and quality of the measured data.

It will be assumed throughout the paper that the time-distance curves can be approximated by hyperboles. Some of the statistical characteristics of the parameters t_0 and NMO and the variance of the stacking velocity v_s will be assumed to be known. The effect of noise will be considered through these factors. In the following examples seismic reflections will be characterized by the parameters of the hyperbole fitted to the local maxima of the traces. (Related investigations of the author were reported at the XX. Geophysical Symposium, in Szentendre, Hungary, 1975).

Next, the statistical properties of the errors of depth and interval velocity estimations will be investigated as a function of the noise. All computations will be performed for the fixed spread system E-60-2-12 (i.e. geophone spacing 60 m, offset = 2 times geophone spacing, fold-number = 12). The standard deviation of the arrival times (times of peaks) will be generally assumed as $\sigma_t = 1$ ms unless otherwise mentioned. All results characterizing standard deviations of the different parameters will be proportional to σ_t .

According to the theory of stochastic processes σ_t can be expressed as

$$\sigma_t = \frac{f_n}{\sqrt{2n} (2\pi f_s)^2}$$

where f_n is the average noise frequency, n is the signal-to-noise power ratio, f_s is the average signal frequency. The above formula holds for large values of n . For low signal-to-noise ratios the formula for σ_t is more complicated.

The Expected Value and the Variance of the Interval Velocity

The estimated value of the interval velocity depends on the chosen mathematical model. In the next paragraphs only a single model will be dealt with; it is expected however, that the fluctuations of the statistical parameters will be similar for the more general models as well.

To begin with let us recall some basic concepts about interval velocities. Suppose that the interval velocity between two reflectors is computed by the DIX formula (DIX, 1955):

$$v_{int}^2(i+1) = (v_{i+1}^2 t_{i+1} - v_i^2 t_i) / (t_{i+1} - t_i)$$

where v_{i+1} and v_i are the RMS velocities (i.e., practically, stacking velocities) and t_{i+1} and t_i are the zero-offset times of the respective horizons. It is well known (see AL-CHALABI, 1974) that for a horizontally layered medium the "interval velocity" computed between any two reflectors from the respective t_0 and V_{RMS} parameters is the same as the RMS velocity between the two reflectors. The closer the computed

RMS velocity is to the effective average velocity of the set of layers in question, the more homogeneous this set is. Indeed, if this set consists of a series of equal velocity layers (i.e. if it is completely homogeneous), the RMS and average velocities will be equal. The ratio of these two velocities characterizes the homogeneity of the medium.

Because of the noise and the limited resolution power of the seismic method, the medium cannot be modelled by arbitrarily thin layers. In practice, we have to confine ourselves to the detection of the marked changes of the velocity functions, i.e. an optimal division of the depth section to a finite number of relatively thick layers should be sought for.

Let us consider the two-layered model shown in Fig. 1. Thicknesses and interval velocities of the two layers are $h_1, h_2; v_1$ and v_2 , resp. The theoretical derivation of the variance $\sigma_{v_{int}}(2)$ of v_2 is given in Appendix A. Since the variances are shown to depend very slightly on the actual values of v_1, v_2 , only the case $v_1 = 2800$ m/s; $v_2 = 3200$ m/s will be dealt with.

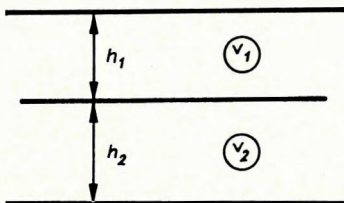


Fig. 1 Model applied for the study of the interval velocity v_2

1. ábra. Modell a v_2 intervallumsebesség tanulmányozására

Рис. 1. Модель для изучения интервальных скоростей V_2

The dependence of $\sigma_{v_{int}}(2)$ on h_1, h_2 will be investigated for the following two cases:

A. The fluctuations Δt are completely non-correlated, i.e. the last four terms in Eq. A. 1. will vanish (Fig. 2);

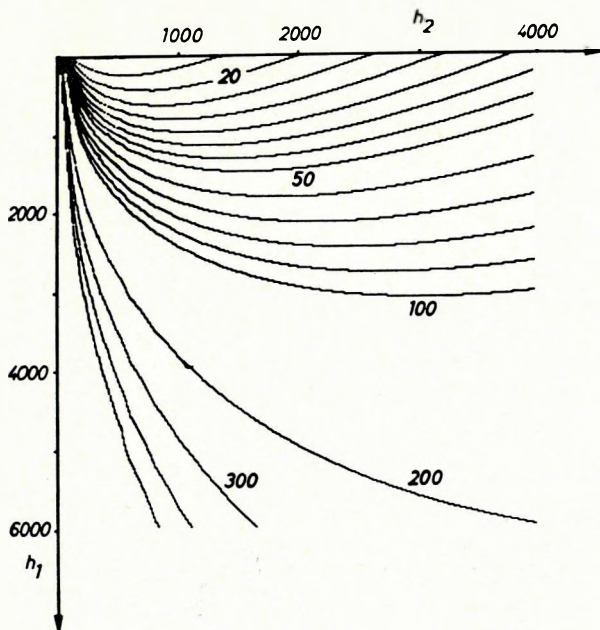


Fig. 2 Scatter of the interval velocity v_2 in case of noncorrelated noises

2. ábra. A v_2 intervallumsebesség szórása korrelálatlan zajok esetén

Рис. 2. Разброс интервальных скоростей V_2 при наличии некоррелирующихся помех

B. The fluctuations are completely due to residual statics (Fig. 3).

In reality of course the fluctuating quantities contain static and non-correlated components as well. The variance of the interval velocity depends on the magnitudes and ratios of the two noise types (due to the independency of these different kinds of noise, their standard deviations simply add together). In case of $h_1 = 0$ the two variances are almost equal.

The above results allow the following conclusions to be drawn:

a) The estimation of the interval velocity is less influenced by the errors of the static correction (case B) than by the inorganized noise (assuming an identical scatter σ_i). The estimation of stacking velocity was deteriorated by both types of noise. By applying an automatic static correction program, the B type of noise can be eliminated and—in case of a good-quality material—we are usually left with a non-correlating noise of some ± 1 ms scatter.

b) In case of non-correlated noise the estimation of the velocity of thin layers becomes more and more illusory for increasing depths. For a more detailed analysis of interval velocities (e.g. to detect overpressured zones) an extreme smoothing

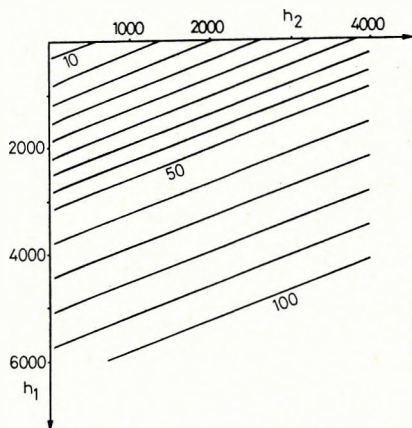


Fig. 3 Scatter of the interval velocity v_2 in case of static noise

3. ábra. A v_2 intervallumsebesség szórása statikus jellegű zajok esetén

Рис. 3. Разброс интервальных скоростей V_2 при наличии статических помех

of these velocities should be carried out along the section. (This, of course, can be considered as a way to decrease σ_i).

c) In case of non-correlating noise the optimal thickness h_2 (for which the interval velocity can be estimated with a minimal error) increases proportionally with h_1 .

Expected Value and Variance of the Estimated Depth Values

One of the most important transformed quantity is *depth*, which is the product of the average velocity and t_0 . We shall confine ourselves to investigate the case of a horizontally layered medium in which case the stacking velocity v_s , derived from the travel-time curves, can be considered to be a good approximation of the RMS velocity. (For an exact definition of the different velocity concepts please refer to the works of TANER and KOEHLER 1969; SHAH 1973; AL-CHALABI 1974).

It is well-known (AL-CHALABI 1974) that the RMS (\approx stacking) and average velocities are connected by the formula

$$v_a = v_{RMS} / \sqrt{1+g},$$

where g is the *inhomogeneity factor*:

$$g = \frac{1}{D^2} \sum_{k=1}^{n-1} h_k \sum_{j=k+1}^n h_j \frac{(v_k - v_j)^2}{v_k v_j}; \quad g \geq 0$$

and D is the depth of the lower boundary of the n -th layer. (The above value of g can be easily derived from the identity:

$$v_{RMS}^2 - v_a^2 = \left[\left(\sum_{k=1}^n t_k \right) \left(\sum_{k=1}^n v_k^2 t_k \right) - \left(\sum_{k=1}^n v_k t_k \right)^2 \right] / \left(\sum_{k=1}^n t_k \right)^2$$

For a given value of g , the depth H can be expressed as:

$$H \approx \frac{v_a t_0}{\sqrt{1+g}}.$$

The computation of error is complicated by the fact that the three quantities shown in the above formula are not independent. The estimated value of g depends—apart from the expected errors of the estimated velocities and thicknesses of the individual layers—on the particular division of the measured data as well.

The problem will be studied on two statistical models. It will be aimed to get an at least qualitative estimation of the expected errors of g and H in some cases close to practical situations. At the same time the influence of the number N of the pair of parameters (H_i, v_i) on the geological information gained will also be studied. *Geological information* will mean from here on the change of uncertainties (i.e. entropy) of the estimated parameters (e.g. layer thickness and interval velocity) during the process of measurements. To avoid the use of the complicated formulae describing the entropy in case of a large number of parameters, a more straightforward procedure will be applied. We shall study the RMS deviation δ between the estimated parameters and the synthetic model parameters (interval velocities), as a function of the number of the parameters. This quantity, although less general than the entropy, adequately describes the quality of the estimated parameters. The solution to the inverse problem should be designed for models minimizing the error δ .

The models are built up from 50 m thick, homogeneous layers. Interval velocities are normally distributed around their mean values, with standard deviation σ_v . Two (fixed) velocity models will be considered: a step-wisely changing model consisting of 1000 m thick constant sections, and a linear velocity-depth function (Fig. 4).

The arrival times of the reflections are computed from the model according to the formula:

$$t_i^2 = C_1 + C_2 x_i^2$$

(see TANER and KOEHLER 1969). To each t_i we add a non-correlated, Gaussian noise Δt_i ; of zero mean value and σ_t variance. Higher order terms, such as C_3 , in the expression of t_i^2 will be neglected.

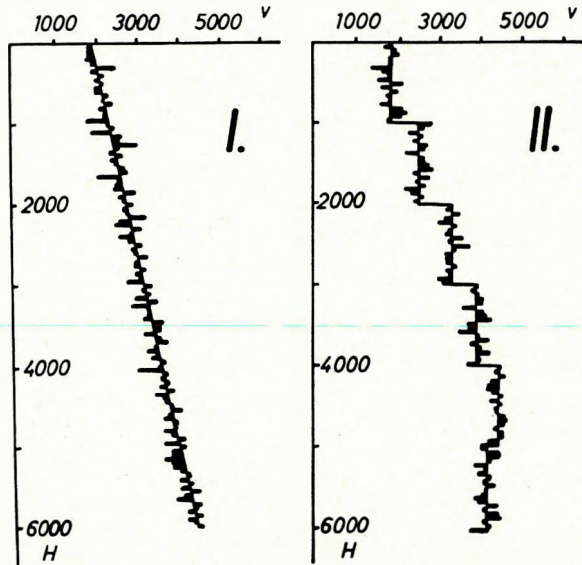


Fig. 4 Two geological models for the study of the depth estimation
 4. ábra. Két geológiai modell a mélység becslésének tanulmányozásához
 Рис. 4. Две геологических модели для изучения оценки глубин

Next we take every m -th reflector ($m = 1, 2, 3, \dots$) in turn and determine from numerous (30) realizations of the noise sequence Δt the expected values and variances of the parameters t_0, v, H, g and δ , corresponding to the deepest reflector at 6000 m depth. The estimation of the parameters are performed by means of the DIX formula, using hyperboles fitted to the arrival times $t_i + \Delta t_i$. (In case of $m = 20$, the reflections taken into account correspond to the main velocity jumps in Model II.)

From the results obtained, the following conclusions can be drawn:

a) In case of Model I δ has a well-defined minimum with respect to the number of parameters N . The minimum occurs approximately at the same place for different values of σ_v . The existence of this minimum is due to two adverse effects: for large N the scatter of the interval velocities becomes too large, for small N the estimated values of velocities cannot describe sufficiently the main features of the model (Fig. 5).

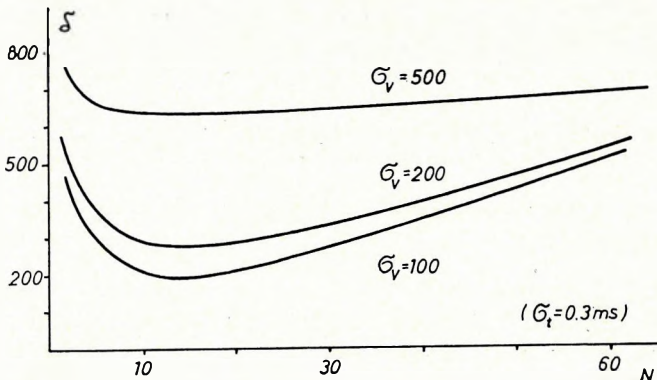


Fig. 5 Behaviour of δ as a function of the number of parameter pairs (N) for Model I, for fixed σ_t .

5. ábra. A δ mennyiség a paraméterpárok N számának függvényében az I. modell esetén, rögzített σ_t mellett

Рис. 5. Зависимость величины δ от количества пар параметров (N) для модели I при заданной величине σ_t .

b) The optimal number of parameters depends on σ_v , and on the degree of smoothing along the section. In case if a more accurate measured data is available a coarser division of the model should be chosen (Fig. 6).

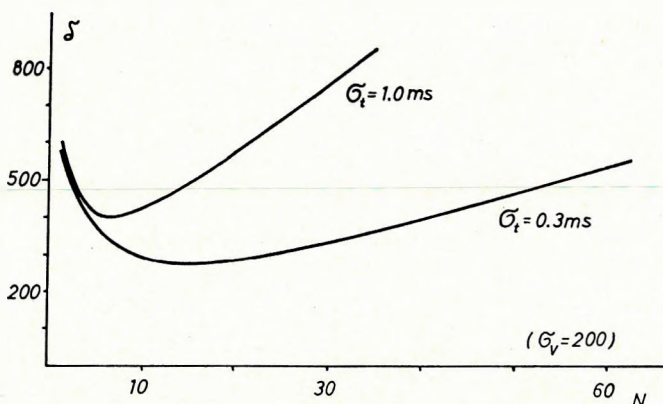


Fig. 6 Behaviour of δ as function of the number of parameter pairs (N) for Model I, for fixed σ_v

6. ábra. A δ mennyiség a paraméterpárok N számának függvényében az I. modell esetén, rögzített σ_v mellett

Рис. 6. Зависимость величины δ от количества пар параметров (N) для модели I при заданной величине σ_v .

c) In case of Model II the quantity δ reveals a clear-cut absolute minimum corresponding to the actual number of velocity jumps. For practical purposes it is advisable to use the flatter, a slightly disadvantageous, local minimum for model-building (Fig. 7).

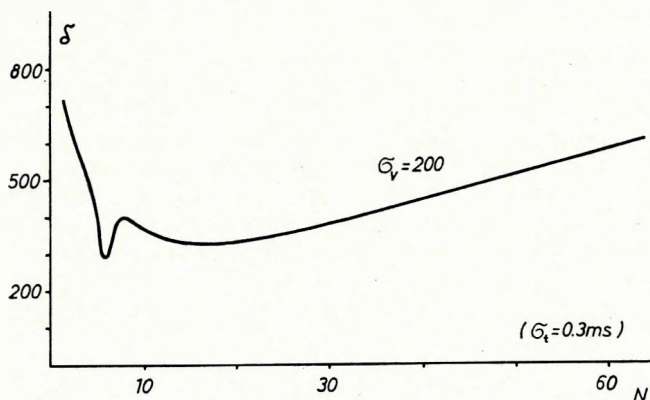


Fig. 7 Behaviour of δ as a function of the number of parameter pairs (N) for Model II

7. ábra. A δ mennyiség a paraméterpárok N számának függvényében a II. modell esetén

Рис. 7. Зависимость величины δ от количества пар параметров (N) для модели II.

d) There is a close connection between the estimated depth H and the inhomogeneity factor g : the expected value of H is distorted by the error of factor g (Fig. 8).

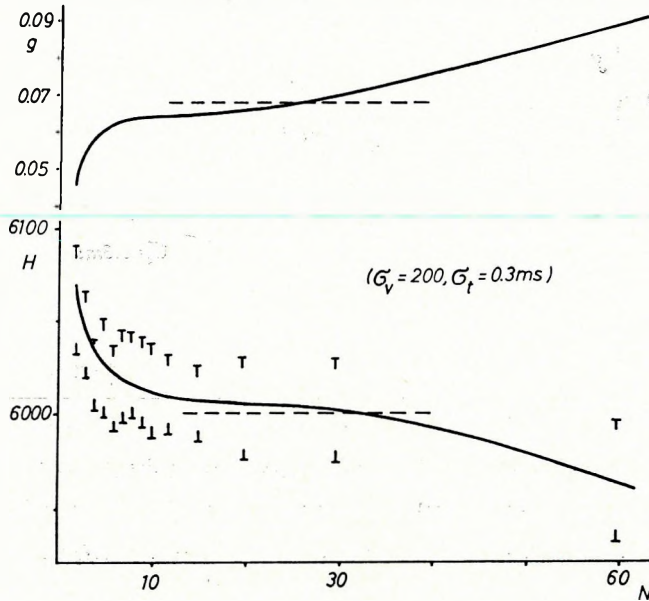


Fig. 8 The estimated inhomogeneity factor (g) and depth (H) as functions of the number of parameter pairs (N), for Model I; — — — exact value

8. ábra. A becsült g inhomogenitás faktor és H mélység alakulása a paraméterpárok N számának függvényében (I. modell); — — — pontos érték

Рис. 8. Зависимость фактора оцененной неоднородности g и глубины H от количества пар параметров (N) для модели I. — — — — точные величины

Around the optimal number of parameters (see Fig. 6) the estimated g and H values are almost independent of N ; however g is less than its theoretical value. The decreased value of g is due to the fact that a correct interpretation necessarily results in a much more homogeneous, simpler model than the reality. If we do not want to fool ourselves with incorrect velocity estimations, it is not worthwhile to strive at a more accurate estimation of the inhomogeneity factor.

Summarizing the above results it turns out that the factor g is only of a secondary importance. If the number of parameters is nearly optimal, the only effect of g will be felt in a (slightly) distorted expected value of the estimated depth. As a first approximation the influence of the errors of g on the scatter σ_H of the estimated depths can be neglected:

$$E(\Delta H^2) \equiv \sigma_H^2 \approx \frac{1}{1+g} E\{[(t_0 + \Delta t_0)(v_s + \Delta v_s) - t_0 v_s]^2\},$$

$$\sigma_H^2 \approx \frac{1}{1+g} [t_0^2 \sigma^2 + v_s^2 \sigma_{t_0}^2 + 2t_0 v_s E(\Delta t_0 \Delta v_s)].$$

The scatter of the depth values can be approximated by the above formula, as it is shown in Fig. 8.

On the basis of the investigated models ($\sigma_t = 0.3$ ms) it seems that the velocities should be determined at every depth of 250–500 m, the samples to be taken should not necessarily be equally spaced in time. The value of the inhomogeneity factor can also be found from sonic logs. The importance of the optimal number of parameters, tailored to the accuracy of the measurement (i.e. to σ_t), should especially be emphasized.

It is needless to say things are much more complicated on real seismic materials. The primary reflections should be picked from different types of organized noise and multiples. They are not uniformly distributed and by no means of equal energy along the sections.

Appendix A

Expected Value and Variance of the Estimated Interval Velocity

Let us consider a series of horizontal, homogeneous layers and adopt the usual assumption that stacking velocity v_s and RMS velocity are equal.

From the definition of the RMS velocity, the interval velocity of the layer situated between the i -th and $(i+1)$ -st reflector can be expressed by the Dix formula as:

$$v_{int}(i+1) = \sqrt{\frac{v_{RMS}^2(i+1)t_0(i+1) - v_{RMS}^2(i)t_0(i)}{t_0(i+1) - t_0(i)}}$$

where the meaning of $t_0(i+1)$, $t_0(i)$, $v_{RMS}(i+1)$ and $v_{RMS}(i)$ should be clear.

Given that the above quantities are burdened with errors:

$$[v_{RMS}(i+1) + \Delta v_{RMS}(i+1)], [v_{RMS}(i) + \Delta v_{RMS}(i)], \\ [t_0(i+1) + \Delta t_0(i+1)] \text{ and } [t_0(i) + \Delta t_0(i)],$$

let us consider the derived value of

$$[v_{int}(i+1) + \Delta v_{int}(i+1)]$$

[For sake of simplicity \mathbf{v}_i and \mathbf{t}_i will be used instead of $v_{RMS}(i)$ and $t_0(i)$]

$$\Delta v_{int}(i+1) = \sqrt{\frac{(\mathbf{v}_{i+1} + \Delta \mathbf{v}_{i+1})^2(\mathbf{t}_{i+1} + \Delta \mathbf{t}_{i+1}) - (\mathbf{v}_i + \Delta \mathbf{v}_i)^2(\mathbf{t}_i + \Delta \mathbf{t}_i)}{(\mathbf{t}_{i+1} + \Delta \mathbf{t}_{i+1}) - (\mathbf{t}_i + \Delta \mathbf{t}_i)}} - \\ - \sqrt{\frac{\mathbf{v}_{i+1}^2 \mathbf{t}_{i+1} - \mathbf{v}_i^2 \mathbf{t}_i}{\mathbf{t}_{i+1} - \mathbf{t}_i}}$$

Expanding the first term into Taylor series, neglecting higher than first-order terms and substituting back the original expression for $v_{int}(i+1)$ we obtain:

$$\Delta v_{int}(i+1) = \frac{1}{Tv_{int}(i+1)} \left\{ \mathbf{v}_{i+1} \mathbf{t}_{i+1} \Delta \mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i \mathbf{t}_i \Delta \mathbf{v}_i + \right.$$

$$+ \frac{v_{i+1}^2}{2} \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right) \Delta t_{i+1} - \frac{v_i^2}{2} \left(1 + \frac{t_i}{T} - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right) \Delta t_i \Big\},$$

where $T = t_{i+1} - t_i$.

Let us compute now the expected value of $\Delta v_{int}(i+1)$:

$$\begin{aligned} E \Delta v_{int}(i+1) &= \frac{1}{T v_{int}(i+1)} \left\{ v_{i+1} t_{i+1} E(\Delta v_{i+1}) - v_i t_i E(\Delta v_i) + \right. \\ &\quad + \frac{v_{i+1}^2}{2} \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right) E(\Delta t_{i+1}) - \\ &\quad \left. - \frac{v_i^2}{2} \left(1 + \frac{t_i}{T} - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right) E(\Delta t_i) \right\} = 0 \end{aligned}$$

since all terms on the right-hand-side have zero expected values. It should be mentioned that in spite of the above result the estimation of $v_{int}(i+1)$ is generally not unbiased because of the hyperbolic approximation of the travel-time curves.

The variance of the estimation error $\Delta v_{int}^2(i+1)$ is:

$$\begin{aligned} E(\Delta v_{int}^2(i+1)) &\equiv \sigma_{v_{int}}^2(i+1) = \frac{1}{T_{int}^2(i+1)} \left\{ v_{i+1}^2 t_{i+1}^2 \sigma_{v_{i+1}}^2 + \right. \\ &\quad + v_i^2 t_i^2 \sigma_{v_i}^2 + \frac{v_{i+1}^4}{4} \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right)^2 \sigma_{t_{i+1}}^2 + \\ &\quad + \frac{v_i^4}{4} \left(1 + \frac{t_i}{T} - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right)^2 \sigma_{t_i}^2 + \\ &\quad + v_{i+1}^3 t_{i+1} \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right) E(\Delta t_{i+1} \Delta v_{i+1}) + \\ &\quad + v_i^3 t_i \left(1 + \frac{t_i}{T} - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right) E(\Delta t_i \Delta v_i) - \\ &\quad - 2 v_{i+1} v_i t_{i+1} t_i E(\Delta v_{i+1} \Delta v_i) - \\ &\quad - v_{i+1} v_i^2 t_{i+1} \left(1 + \frac{t_i}{T} - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right) E(\Delta t_i \Delta v_{i+1}) - \\ &\quad - v_{i+1}^2 v_i t_i \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right) E(\Delta t_{i+1} \Delta v_i) - \\ &\quad - \frac{v_{i+1}^2 v_i^2}{2} \left(1 - \frac{t_{i+1}}{T} + \frac{v_i^2 t_i}{T v_{i+1}^2} \right) \left(1 + \frac{t_i}{T} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{v_{i+1}^2 t_{i+1}}{T v_i^2} \right) E(\Delta t_{i+1} \Delta t_i) \Big\} \end{aligned} \quad (A.1)$$

where the covariance-term $E(\Delta t_k \Delta v_k)$ will be derived in Appendix B.

If the events corresponding to the i -th and $(i+1)$ -st horizons are not correlated, the last four terms vanish from the expression of $\sigma_{v_{int}}^2(i+1)$. If, however, static correction errors also contribute to the terms Δt_{i+1} and Δt_i , the latter four terms cannot be neglected.

In this case the following inequalities hold:

$$0 \leq E(\Delta v_{i+1} \Delta v_i) \leq \varrho \tag{A.2}$$

$$0 \leq |E(\Delta t_i \Delta v_{i+1})| \leq |E(\Delta t_{i+1} \Delta v_{i+1})| \tag{A.3}$$

$$0 \leq |E(\Delta t_{i+1} \Delta v_i)| \leq |E(\Delta t_i \Delta v_i)| \tag{A.4}$$

$$0 \leq E(\Delta t_{i+1} \Delta t_i) \leq \sigma_{t_0}^2 \tag{A.5}$$

where

$$\begin{aligned} \varrho = & \frac{v_{i+1}^3 v_i^3}{x^4} \{ (t_i + NMO_i)(t_{i+1} + NMO_{i+1})\sigma_{NMO}^2 + \\ & + [(t_i + NMO_i)NMO_{i+1} + (t_{i+1} + NMO_{i+1})NMO_i]E(\Delta t_0 \Delta NMO) + \\ & + NMO_{i+1}NMO_i\sigma_{t_0}^2 \} \end{aligned}$$

The inequalities (A. 2)-(A. 5) express the fact that the covariance terms are restricted between two kinds of degenerated limiting values.

On the left-hand-side of the above inequalities the equality sign holds for the case when the noise are completely non-correlated between successive horizons. The right-hand-side limit corresponds to the case of the identical noise for all horizons, i.e. static correction noise alone.

It should be noted that the above derivation is independent of the particular method of determination of the parameters of the hyperbole; any method of velocity determination can be described by means of σ_{t_0} , σ_{v_s} and $E(\Delta t_0 \Delta v_s)$.

Appendix B

Covariance of the Estimation Errors of t_0 and v_1

Using the series development of v_s up to the first order terms:

$$E(\Delta t_0 \Delta v_s) = E \left\{ - \frac{v_s^3}{x^2} [(t_0 + NMO)\Delta NMO + NMO\Delta t_0] \Delta t_0 \right\},$$

$$E(\Delta t_0 \Delta v_s) = - \frac{v_s^3}{x^2} [(t_0 + NMO)E(\Delta t_0 \Delta NMO) + NMOE(\Delta t_0^2)]$$

or, in another form

$$E(\Delta t_0 \Delta v_s) = - \frac{v_s^3}{x^2} [(t_0 + NMO)E(\Delta NMO) + NMO\sigma_{t_0}^2]$$

REFERENCES

- AL-CHALABI, M., 1973: Series approximation in velocity and travelttime computations. Geophysical Prosp. 21 No 4
- AL-CHALABI, M., 1974: An analysis of stacking. RMS, average and interval velocities over a horizontally layered ground. Geophysical Prosp. 22 No 3
- ANSTEY, N. A., 1973: How do we know we are right? Geophysical Prosp. 21, p. 407
- DIX, C. H., 1955: Seismic velocities from surface measurements. Geophysics, 20
- GOLTSMAN, F. M., 1975: A statistical theory of the interpretation of geophysical fields. Fizika Zemlyi, No 1, pp. 49-53 (in Russian)
- KÉSMÁRKY I., 1975: Investigation of seismic spread systems with regards to the quality of velocity estimation. 20th Geoph. Symp. Szentendre, Hungary
- SALÁT, P.-DRAHOS, D., 1975: An interpretation strategy of electromagnetic soundings based on the theory of information and of linear systems. Magyar Geofizika, XVI. No 1 (in Hungarian)
- SALÁT, P.-DRAHOS, D., 1973: Certain Applications of Digital Filtering in Geophysical Data Processing. Publ. of MGE, Budapest (in Hungarian)
- SHAH, P. M., 1973: Use of wavefront curvature to relate seismic data with subsurface parameters. Geophysics, 38 No 5
- SLOTNICK, M. M., 1959: Lessons in Seismic Computing. Tulsa, Okl.
- TANER, M. T.-KOEHLER, F., 1969: Velocity Spectra—digital computer derivation and applications of velocity functions. Geophysics, 34 No 6

KÉSMÁRKY ISTVÁN

AZ INTERVALLUMSEBESSÉG BECSLÉSI HIBÁI
ÉS A GEOLÓGIAI MODELL

Figyelembevétel a geofizikai mérési adatok nagy tömegét, belátható, hogy a kiértékelés célja nem lehet olyan geológiai modell meghatározása, mely minden mérési adattal teljes összhangban van. Ekkor ugyanis a modell a mérési adatokkal azonos számú paramétert tartalmazna. A szeizmikában ilyen nagyméretű egyenletrendszerek megoldása számítástechnikai és egyéb okok miatt abszurdum, de más módszereknél is komoly buktatókkal rendelkezik.

Kiértékelési tapasztalatok, számos szerző munkája (és e dolgozat is) azt bizonyítják, hogy helytelen olyan bonyolult geológiai hatókat meghatározni, melyek hatása azonos a mért adatokkal. A gyakorlatban erősen túlhatarozott egyenletrendszerek megoldása a célszerű.

A mérési adatok és a feltételezett ideális geológiai alakzatok hatása közti ellentmondást a zajok fogalmának bevezetésével oldjuk föl. A zajokat statisztikus módszerekkel kezeljük. Annál többet vagyunk kénytelenek a zajok terhére írni, minél primitívebb esetekre vannak csak feltárva a különféle hatások és hatók közti kapcsolatok. Az egyre bonyolultabb szerkezetek hatásának feltárásával azonban nem csökkenthető minden határon túl a „zajok” nagysága, több okból sem. Egyrészt a statisztikus mérési hibák már nincsenek kapcsolatban a hatókkal, ezek nem tűntethetők el. Másrészt matematikai összefüggések csak a valóságosnál lényegesen egyszerűbb esetekre ismeretesek csupán. A paraméterek növekvő száma és a becslések megbízhatósága között fordított arányosság szerű összefüggés van. Látható, hogy az egyre bonyolultabb geológiai alakzatok megismerése elvi korlátokba ütközik.

Ilyen helyzetben a kiértékelés legelfogadhatóbbnak tűnő célkitűzése az, hogy az így definiált zajok zavaró hatása minimális legyen a meghatározott geológiai paraméterekre. (Két véglet közti optimum megkereséséről van tehát szó, a modellparaméterek száma szerint.)

Precízen megfogalmazva ez azt jelenti, hogy olyan ható paramétereit kell meghatározni, melyre a mérési adatok maximális információt szolgáltatnak. Információ alatt értjük a hatóparaméterek bizonytalanságának (entrópiájának) megváltozását a mérések következtében.

Az adott, vitán felülről egyenletek megoldásán túl a vázolt szemléletmód lehetőséget nyújt a kiértékelő szakmai lelkiismeretességének objektív matematikai modellezésére. A geofizikai mérések hasznosításának éppen az a leglényegesebb kérdése, hogy a fizikai módszerek mely határig segíthetik a geológiai kiértékelő munkát. Ezen túl már csak földtani módszerekkel lehet következtetéseket levonni.

A logikailag helyes kiértékelési eljárások három alappillérré építhetők. (Más, szabatosabb megfogalmazásai is léteznek, pl. F. M. Golcman 1975; Salát, Drahos 1973, 1975.)

1. A mért adatok idealizálása.
2. A geológiai viszonyok idealizálása, alkalmas modell megválasztása.
3. A két alapvető tartomány közti transzformáció megválasztása.

A dolgozat ismerteti a becült intervallumsebességeket befolyásoló tényezőket és a meghatározott értékek szórásának alakulását ezek függvényében. A téma fontosságára több szerző is felhívta a figyelmet (Anstey 1973). Az elvégzett modellvizsgálatok alapján következtetések vonhatók le a statisztikus hibák hatásának és a modell minőségének kapcsolatáról. A meghatározandó geológiai paraméterek optimális száma érzékenyen függ a mérési adatok minőségétől, mennyiségétől.

A továbbiakban a menetidőgörbéről föltesszük, hogy hiperbolával jól közelíthetők, t_0 és NMO paramétereinek egyes statisztikai jellemzőit ismertnek vesszük, a v_s stacking sebesség szórását úgy szintén. A zajok hatásait e tényezőkön keresztül vesszük figyelembe. A bemutatandó példák esetében a csatornák lokális maximumaira illesztett hiperbola paramétereivel jellemezzük a reflexiókat.

A következőkben egyes geológiai paraméterekre — az intervallumsebességekre és mélységekre — kapható becslések statisztikai tulajdonságait vizsgáljuk, a zajok függvényében. A terftési rendszert rögzítjük, számításainkat az E-60-2-12 rendszerre végezzük el. Az időmérési adatokat (a lokális maximumhelyeket) terhelő hiba σ_t szórását 1 ms-nak választjuk, hacsak külön nem jelezzük a kivételt ez alól. (A szórás jellegű eredmények σ_t -vel arányosak.)

σ_t értéke a stochasztikus folyamatok elmélete alapján levezethető:

$$\sigma_t = \frac{f_z}{\sqrt{2n(2\pi f_j)^2}},$$

ahol f_z a zajok közepes frekvenciája, n a jel/zaj energia arány és f_j a jel közepes frekvenciája.* A fenti kifejezés n nagyobb értékei mellett érvényes, kis jel/zaj arány esetén az összefüggés bonbolultabb.

И. КЕШМАРКИ

ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ИНТЕРВАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ И ГЕОЛИГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Все более важным средством и целью интерпретации сейсморазведочных данных является определение интервальных скоростей.

В работе рассматриваются факторы, влияющие на точность оценки интервальных скоростей, а также зависимость разброса определенных величин от этих факторов.

Проведенные модельные исследования позволяют делать интересные выводы о связи между влиянием статистических погрешностей и качеством, детальностью модели.

Оптимальное число определяемых геологических параметров в значительной мере зависит от качества и количества данных наблюдений.

CERTAIN METHODOLOGICAL QUESTIONS CONCERNING THE PROCESSING OF GRAVITATIONAL TIDAL DATA

BARSENKOV, S. N.*-VARGA, P.**-VOLKOV, V. A.*

In the last few years the wide-spread use of the up-to-date recording gravimeters resulted in the increased accuracy of the measured data. Owing to this fact two novel vistas of research have opened up:

a) By analysing a long sequence of observations it becomes possible to determine of a significantly higher accuracy the amplitude ratios (δ) and phase-lags (κ) of the largest tidal waves than ever before and it can be expected that even the small-amplitude terms of the diurnal and semi-diurnal waves will be suitable for analysis. From the theoretical point of view the study of third-diurnal and long-period waves would also be promising. Alas, only a limited number of analyses carried out on longer series of observations has been published up to now.

b) The aerial distribution of the δ and κ values should also be clarified. This, however, would imply that a great number of measurements ought to be performed at different stations. Because of the limited number of instruments presently at disposal, the total time devoted to a single measurement must necessarily be shortened, so much the more since if we want a dependable set of data it is advisable to use quite a few instruments simultaneously.

The aim of the present paper is to clarify some of the above points. More precisely:

1. it will be determined how long (in hours) a sequence should be in order to yield accurate values for δ and κ ;
2. the results obtained by different methods of Earth tide analysis will be compared; and
3. the errors in the results of the different kinds of analyses will be investigated and connected to the spectral noise of the observations.

The source of information for the analyses was the series of observations recorded by the GS-15 No 220 type gravimeter of the Yu. O. Smidt Institute of Earth Physics of the Soviet Academy of Sciences at the Tihany Observatory of the Hungarian Geophysical Institute "Roland Eötvös".

1. The effect of the length of the observed series on the values of δ and κ has been studied by the Fourier transform method described by VARGA 1970. As Table 1. indicates, the amplitude ratios become stable after a relatively short time and do not change thereafter with the increasing length of observations. The errors of the observations, however, steadily decrease—although at a decreasing rate—with the increasing length of the series of observations (Fig. 1). The total length of the observation was 260 days, and the rate of decrease of the errors in the observation became negligible after some 150–180 days. Thus, under the given recording conditions

* Institute of Earth Physics of the Soviet Academy of Sciences, Moscow

** Hungarian Geophysical Institute "Roland Eötvös"

Manuscript received: 22, 1, 1976

Table 1
1. Táblázat
Таблица 1

1 2	O_1	K_1	N_2	M_2	S_2
35	1.155 ± 0.008	1.141 ± 0.007	1.166 ± 0.010	1.187 ± 0.003	1.187 ± 0.007
119	1.151 ± 0.003	1.142 ± 0.002	1.165 ± 0.009	1.185 ± 0.002	1.179 ± 0.006
256	1.158 ± 0.003	1.142 ± 0.002	1.171 ± 0.006	1.189 ± 0.001	1.182 ± 0.003

1 Hullámok
Waves
Волны

2 Sorozat hossza napokban
Length of registrations in days
Длина серия в днях

Table 1 Values of amplitude ratios for some series of different length

1. táblázat. Amplitúdóhányados értékek különböző hosszúságú sorozatoknál

Таблица 1. Амплитудные характеристики в случае различных по длине серий наблюдений

this is the optimal duration of the observations. This is, of course, by no means a generally valid rule which would hold for all cases. It has not yet been unambiguously settled whether the behaviour revealed by Fig. 1 is due to the characteristics of the given instrument, or it depends on external factors. Certain considerations (see Section 3) however indicate that the external effects certainly play a definite role. In any case it can be stated that increasing the length of the observed series does not result in a monotonic decrease of the errors, i.e. unless we exactly compensate for the influences bringing about these errors; the detection of small-amplitude

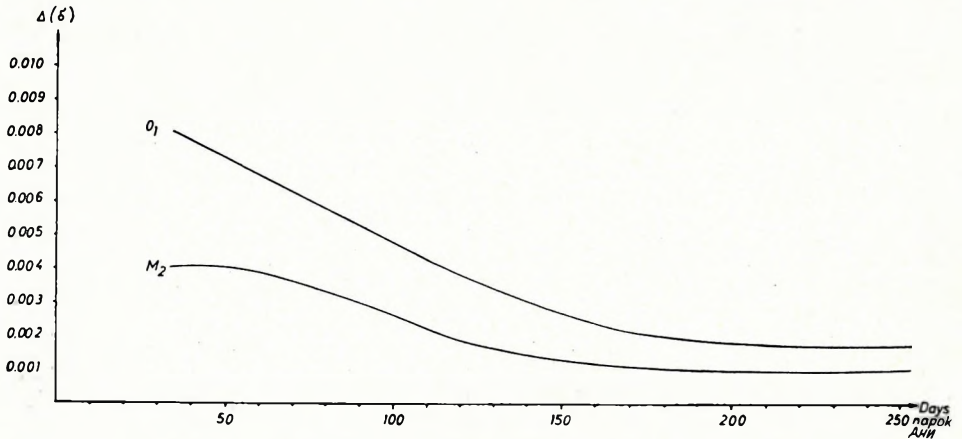


Fig. 1 The errors in the amplitude ratios of the M_2 and O_1 waves as functions of time

1. ábra. M_2 és O_1 hullámok amplitúdóhányadosainak hibái az idő függvényében

Рис. 1. Ошибки амплитудных характеристик волн O_1 и M_2 в функции от времени

waves should be restricted only to the group of semidiurnal and diurnal tides. A further important condition of the detectability of small waves is that large amplitude tidal waves which had already been detected must be filtered out.

2. The result obtained by the various kinds of harmonic analyses have been compared. The following methods have been dealt with:

- the data obtained by the method of CHOJNICKI (1971) were provided by the Geophysical Institute of the Polish Academy of Sciences (Warsaw);
- the computations based on the VENEDIKOV's (1966) method were carried out in the International Centre of Earth Tides (Bruxelles) and in the Institute of Earth Physics of the Soviet Academy of Sciences (Moscow);
- the computations based on the Fourier transformation algorithm (VARGA 1970) were performed in the Hungarian Geophysical Institute "Roland Eötvös" (Budapest).

The results of these computations are compiled in Table 2. It can be seen that the results obtained by the CHOJNICKI and VENEDIKOV method respectively, practically are the same for the series of observations made during 2 months. The

Table 2
2. Táblázat
Таблица 2

a) 25. 09. 1973 — 22. 11. 1973

1 \ 2	O ₁	K ₁	N ₂	M ₂	S ₂					
Fourier	1.196	—0°35	1.180	—1°47	1.196	—5°81	1.200	—1°60	1.232	—1°70
Venedikov* (1966)	1.198	—0°17	1.181	—1°56	1.263	—4°32	1.220	—1°31	1.208	—1°12
Chojnicki	1.196	—0°38	1.184	—1°33	1.266	—2°03	1.218	—1°33	1.218	—1°18

b) 25. 09. 1973 — 23. 06. 1974

Venedikov* (1966)	1.158	0°05	1.145	—0°13	1.176	1°14	1.190	0°34	1.188	0°22
Venedikov** (1966)	1.157	0°24	1.142	—0°17	1.172	0°49	1.190	0°39	1.188	0°01
Fourier	1.158	0°61	1.142	—0°24	1.171	1°98	1.189	—0°10	1.182	0°40

* A számításokat a Nemzetközi Földiárapály Központban végezték
Calculations were carried out in International Centre of Earth Tides (Bruxelles)
Результаты получены в Международном Центре по Земным Приливам (Брюссель)

** A számításokat a Szovjet Tudományos Akadémia Földfizikai Intézetében végezték
Calculations were carried out in the Earth Physical Institute of the Soviet Academy of Sciences
Результаты получены в Институте физики земли АН СССР

1 A módszer neve	2 Hullámok
The name of the method	Waves
Наименование метода	Волны

Table 2 Comparison of the results obtained by different methods in the analysis of tidal waves
2. táblázat. Különböző földi-árapály analízáló eljárások eredményeinek összehasonlítása

Таблица 2. Сравнение результатов различных методов гармонического анализа земноприливных наблюдений

results obtained by the Fourier transform method are somewhat different, these differences however vanish if we extend the computations to the whole series of data. This is in accordance with the general opinion: if good-quality data are available the different processing techniques should give identical results.

According to the motion at the Session of the Working Group 3.3 of the KAPG*, held in 1973 in Bucharest, a new laboratory has been established in the Geophysical Institute of the Bulgarian Academy of Sciences to apply a new processing method elaborated by VENEDIKOV 1975. The basic novelty of this method as compared with its previous version (VENEDIKOV 1966) is that it works with—instead of a single set of filters of fixed length—different filters of possibly varying length. This new approach makes it possible to tailor the filters to the individual properties (i.e. noise-spectrum) of any given series of observations. The results of this new method are compiled in Table 3, based on the report of VENEDIKOV and co-workers at the recently established data processing laboratory mentioned above. It can be seen that for both the diurnal and semidiurnal waves the errors are smallest in the case of the filter designated as 133–132. The results obtained by these filters show a close agreement with those in Table 2, although the amplitude ratios determined with the different filters slightly differ from each other, which above all might be due to the low noise level.

3. For the harmonic analyses performed by the use of the Fourier transform method the error of the computed values has been determined as follows:

First, the noise level of the tidal curves was estimated from the parts of the spectrum free from characteristic tidal frequencies. Next, the average noise level is determined and was interpolated for the tidal frequencies. Upon dividing the interpolated noise amplitude by the theoretical signal amplitude we obtained the amplitude error $\Delta\delta$ as a function of frequency. For the series observed by the GS-15 No 220 instrument at the Tihany Observatory the errors determined correspond to those found by VENEDIKOV's method, which proves the correctness of the described way of the estimation of errors.

The averaged noise curve of the series measured at Tihany by the GS-15 No 220 instrument is shown in Fig. 2. The characteristic dependence of this curve on

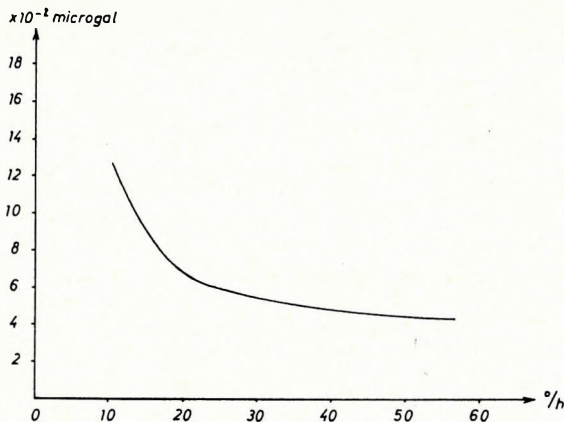


Fig. 2 Average noise of the series measured at the Tihany Observatory by the gravimeter type GS-15 No 220

2. ábra. A GS-15 No 220 regisztráló graviméter Tihanyban mért sorozatának átlagos zaja

Рис. 2. Средний шум наблюдений гравиметра GS-15 № 220 в Тихани

* The term KAPG stands for the Russian abbreviation of the Commission of the Academies of Sciences of Socialist Countries on the complex problem "Planetary Geophysical Investigation".

Table 3
3. Táblázat
Таблица 3

25. 09. 1973 — 23. 06. 1974

Szűrő Filter Фильтр	Hullám — Wave — Волна					Hibák — Errors — Ошибки	
	O_1	K_1	N_1	M_2	S_2	1	2
101, 102	1.159 0.0027	1.148 0.0016	1.180 0.0086	1.184 0.0016	1.190 0.0032	3.21	2.13
103, 102	1.158 0.0027	1.145 0.0017	1.190 0.0075	1.185 0.0014	1.185 0.0030	3.68	2.09
103, 104	1.159 0.0028	1.146 0.0016	1.189 0.0074	1.185 0.0014	1.185 0.0030	3.40	2.070
105, 104	1.160 0.0030	1.147 0.0020	1.1905 0.0078	1.185 0.0014	1.185 0.0031	2.21	1.60
131, 132	1.155 0.0028	1.146 0.0018	1.188 0.0068	1.185 0.0013	1.184 0.0027	3.88	1.87
133, 132	1.156 0.0025	1.146 0.0014	1.195 0.0070	1.186 0.0013	1.185 0.0029	2.68	1.35
133, 134	1.158 0.0029	1.143 0.0020	1.184 0.0090	1.186 0.0016	1.185 0.0029	1.96	1.12
165, 164	1.156 0.0027	1.147 0.0017	1.186 0.0087	1.186 0.0016	1.186 0.0035	3.12	2.09
301, 302	1.156 0.0033	1.146 0.0016	1.185 0.0077	1.184 0.0014	1.186 0.0029	3.48	1.91
303, 304	1.166 0.0044	1.1505 0.0033	1.190 0.0085	1.185 0.0016	1.187 0.0038	2.98	1.75
331, 332	1.156 0.0031	1.146 0.0018	1.201 0.0075	1.186 0.0014	1.184 0.0036	2.50	1.27
361, 362	1.157 0.0034	1.145 0.0020	1.192 0.0095	1.187 0.0018	1.186 0.0038	3.82	2.41
363, 364	1.156 0.0030	1.146 0.0017	1.188 0.0090	1.185 0.0016	1.185 0.0032	3.47	1.89

1 Egész napos hullámok
Diurnal waves
Суточные волны

2 Félnapos hullámok
Semidiurnal waves
Полусуточные волны

Table 3 Results of the new method of VENEDIKOV using different sets of filters

3. táblázat. VENEDIKOV új módszerének eredményei különböző szűrőkészleteknél

Таблица 3. Результаты по новому методу Венедикова в случае различных наборов фильтров

frequency suggests that the noise distribution may be in connection with external effects. It is a well-established fact that the errors for diurnal waves are always greater than those for the semidiurnal waves. It is very likely that this frequency-dependent, externally controlled effect lies behind the fact that while the third-diurnal M_3 wave of very small amplitude ($\approx 0,5 \mu\text{gal}$) could have been detected even years ago with a reasonable accuracy but no comparable accuracy has ever been achieved in the case of the much larger semidiurnal or diurnal waves.

REFERENCES

- CHOJNICKI, T., 1971: Détermination des paramètres de marée par la compensation des observations au moyen de la méthode des moindres carrés. *Materialy i prace*, t. 55., Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences. Marées Terrestres, Warszawa
- VARGA P., 1970: Fourier-transform of the tidal variations in the intensity of gravity. *Geofizikai Közlemények*, XIX. 3-4
- VENEDIKOV, A., 1966: Une méthode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. *Académie Royal de Belgique; Bull. de la Classe Sciences t. LIII. fasc. 3*
- VENEDIKOV, A., Harmonic analysis of Earth tide registrations. Mimeographed lecture note, Working Group 3.3 of the K.A.P.G., Prague. (In Russian)

BARSZENKOV SZ. N.—VARGA P.—VOLKOV V. A.

A GRAVITÁCIÓS ÁRAPÁLY-MEGFIGYELÉSEK
ÉS A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSÁNAK
NÉHÁNY METODIKAI KÉRDÉSÉRŐL

Az utóbbi években nagymértékben megnőtt a gravitációs árapálymérések pontossága. Ennek következtében egy sor probléma merült fel. A tanulmány ezek közül néhányat foglalkozik. A következő kérdéseket vizsgálja:

1. Milyen hosszú óraérték-sorozatra van szükség az amplitúdóhányadosok meghatározásához?
2. A Föld árapályának harmonikus analizésére kidolgozott módszerek eredményei milyen mértékben szolgálnak megegyező eredményeket?
3. Az egyes módszerekből adódó amplitúdóhányadosok meghatározásának hibái és kapcsolatuk a megfigyelések spektrális zajával.

БАРСЕНКОВ С. Н.—ВАРГА П.—ВОЛКОВ В. А.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЛИВОВ

За последние годы существенно повысилась точность наблюдений за гравиметрическими приливами. Вследствие этого возникает ряд проблем. Настоящая работа занимается некоторыми из них. Рассмотрены будут следующие вопросы:

1. Какая длина серии необходима для точного определения амплитудных характеристик и разностей фаз?
2. До какой степени сходные результаты дают различные методы гармонического анализа земных приливов?
3. Ошибки амплитудных характеристик, определяемые по различным методам и их связь с спектральным шумом наблюдений.

NEW VERSATILE NUCLEAR AND ACOUSTIC LOGGER

E. A. ARKADYEV—Yu. I. GORBACHEV—E. V. KARUS—L. G. PETROSYAN*

The 30th anniversary of the ratification of the Soviet–Hungarian Scientific and Technical Cooperation agreement was in 1974. Within the framework of this agreement, the All-Union Research Institute for Nuclear Geophysics and Geochemistry (VNIKYAGG) and the Hungarian Geophysical Institute “Roland Eötvös” (ELGI) develop together some of the theoretical, technological and technical aspects of the geophysical investigation of oil and gas wells. Apart from other research interests, VNIKYAGG develops a versatile nuclear and acoustic logger.

The most important application of this instrument is at the logging of cased wells, however it can be used at open hole investigations as well. The methods used include various variations of the neutron technique and gamma ray logging, but the totality of these is behind in complexity when compared to those applied in open holes. Nevertheless the need for the investigation of cased holes increases. There are several reasons for this. First of all, the geophysical investigation of open holes necessitates a break in the drilling procedure. As the depth and the rate of the drilling procedure increases, it is necessary to look for a way whereby the number of stoppages in the drilling operations are reduced, bearing in mind the expansion in the geophysical research complex. If at least part of the geophysical measurements is postponed till the casing is completed, the economical efficiency of the geological research operation increases.

Secondly in the case, when the probe cannot be lowered into the drilled hole, the readings definitely have to be taken after the casing process has been completed. Thirdly, the geophysical information obtained from cased wells may be different from the one in open holes. This possibility is related to the fact, that the readings are taken during the period when the zone of invasion transforms. Repeated loggings—according to the experience in the Soviet Union—lead to a more accurate estimation of the reserves of some occurrences and to the discovery of new oil-bearing layers.

It is true however, that the effectiveness of the repeated measurements is reduced by the long period of transformation of the zone of invasion. But this problem can be overcome by the application of the new methods being developed, such as thermal, acoustic, hydrodynamic and other geophysical types.

Most of all, the increasing volume of the investigation of cased wells is connected to the need for a more detailed investigation of producing wells and the reestimation of the reserves of abandoned wells [Technological Information, 1971]. The more the occurrences at hand are exhausted, the more these works are intensified.

Let us try to define the criteria of a complex instrument which can be used for the investigation of cased wells, can be built into a single probe, can be produced from electronic components present in production and has a good geological efficiency. It must include the presently employed nuclear-geophysical methods and the principles of electromagnetic, acoustic and density logging.

* All-Union Research Institute for Nuclear Geophysics and Geochemistry (VNIKYAGG), Moscow
Manuscript received: 13. 5. 1976

The high conductivity of the metal casing string practically excludes the possibility of inductive, resistivity and traditional electrical well logging.

Russian research scientists worked out the theoretical basis of a new electrical research method, the so-called "divergence" well-logging method. The present version currently being developed realizes the original theory of measuring the ground resistance of a section of fixed length of the casing string [RIKHLINSKI and MANDELBAUM 1970].

In our point of view the effectiveness of the above-mentioned method—together with other similar types—is questionable to a certain degree.

First of all, even in an ideal case, the parameter to be measured not only depends on the resistivity of rocks, but on the casing string itself together with the geometry and the electrical properties of the cement bond. Secondly, when ground resistance measurements are taken, the depth of investigation is always small, whereby this version is deprived from the most important advantage of the electrical methods. This is why it is not justifiable to incorporate the divergence well-logging technique into an equipment, which is used for the investigation of cased wells.

Lately serious theoretical and experimental work is being done on the practical application of the density log in cased wells [GULIN 1972]. The compensated and the time analytical versions of the density log technique were subjected to scouting. When the first method of the two just mentioned is to be applied in cased wells, the spacing between the source and the detector has to be increased. But the count rate of the back-scattered radiation becomes too slow, even if the safest permissible isotope source of a radiation of 100 mCi is employed.

There are serious deficiencies in the time analytical technique as well. The decay time of gamma fields is so great, that it necessitates the use of a complicated instrument capable to work in the nanosecond range. Although even in this case the rate of count is insufficient.

One of the most hopeful ways to increase the depth of the density logging is to employ high powered, directable gamma-ray sources (generators).

As it can be seen from the reference [ANATZKIY et al. 1973], as the technology develops it is not far, when it will be possible to construct a generator of 0.5–1.0 MeV energy, of a size small enough to fit in a probe and having an average accelerated electron current of ten and hundred microampere, which is equivalent to a radiation intensity of 10^2 – 10^3 Curie. However, the advances made are still at the research stage at present.

At the same time—according to the latest theoretical and experimental results—if certain investigation techniques and suitable instruments are employed, even the acoustic logging method may be applied successfully in cased wells. Cooperating with several other institutes, VNIK YAGG has developed a special purpose low frequency acoustic well logging instrument, called ZVUK-2. The main energy of radiation of this instrument falls into the relatively low 5–16 kHz frequency range, which apart from other specific constructional characteristics, facilitates it to be used in a casing string for a wide variety of investigations [KARUS et al. 1974].

Generally the investigation of productive layers in cased holes is according to the conventionally employed techniques and it consists of the search for reservoir rocks, for non-porous sealing layers, the quantitative analysis of the reservoir characteristics and the determination of the saturation.

At present these tasks are solved by use of the neutron-gamma (NGL) (or for terrigenous reservoirs neutron-neutron NNL), gamma ray (GR)—and neutron life

time (NLL) well-logging techniques. Moreover the results of the gamma ray, neutron-gamma or neutron-neutron logs are used as auxiliary data for the evaluation of the NLL results with the NLL method, the determination of the reservoir saturation and the estimation of the dolomite content of limestones becomes possible.

The instrument is rather imperfect in its present form. First of all it gives reasonable results only about the intergranular porosity of the reservoir rocks [GOLOVATZKAYA 1971]. It is rather inefficient if it is used for the investigation of reservoirs with complicated structures, giving no information about the effective porosity of the rocks, that is to say about the real productivity of the layers.

Secondly the determination of shale content by the total count of the gamma ray log is difficult in certain cases if the rocks contain elements from the uranium and thorium series.

Thirdly as the separation of layers saturated by oil and water is based on the difference in their chlorine content, thus this instrument is incapable to discriminate, if the salt content of the pore water is low.

The acoustic technique incorporated into this instrument eliminates some of the drawbacks mentioned to a certain extent. The acoustic logging (AL) is sensitive to the structure of the reservoir rocks, to small cracks and cavities. Apart from this, it has been already confirmed that the position of the oil-water boundary can be determined from the difference in the decay time of the shear and longitudinal waves, thus independently from the salt content of the pore water [AFANASYEVA et al. 1974, KARUS and KUZNETZOV 1975]. The conditions for determining the shale content from acoustic logging are given as well [DZEBAN 1973]. Integrated interpretation of the shale content by acoustic, gamma ray and neutron-gamma logs increases the accuracy of determining the value of this parameter.

The acoustic well logging instrument used for the investigation of cased holes differs from the conventional one in the type of energy source used and the emitter-receiver spacing. If the instrument is equipped with both middle-frequency and low frequency probes; a certain degree of universality may be obtained. Let us discuss the technical aspects of the operation of the above-described instrument.

When we set the sequence of operations we kept in mind the fact, that NLL logging is much slower than the others. Therefore first we use the AL-GR-NGL(NNL) logs with a speed of 300-400 m/hr on a long section. From the data thus obtained we get a good grasp of the formations and this is later followed by the complete evaluation. Without lifting the probe, we switch to a speed of 100 m/hr and thus we register the NLL and the repeated AL log. Apart from this, we may investigate shorter sections selected from the previous logging for detailed investigation.

The need for repeated AL recording arises, because the data obtained from the first and second measurements must mutually be tied together. Naturally for this purpose the technically simpler NGL method may be applied instead of the AL. The repeated recording of AL—however—widens the field of possibilities further, for example by recording the longitudinal and the shear waves, using different sampling intervals, etc.

The large amount of information and the complicated computerized data processing necessitate the recording the digital data on magnetic tape. This can be realized by using the multifunctional digital recorder (KD-10) developed by ELGI, for example.

The specific characteristics of the digital signal recording process and the fact that both the acoustic and neutron units of the probe contain high voltage impulse

units—having high power consumption and may be a source of interference—the time divisional multiplexing of the channels is essential. But still the NGL-GR measurements may be taken simultaneously.

The probe consists of two parts (1 and 2) connected by a cable-extender (3) (Figure 1).

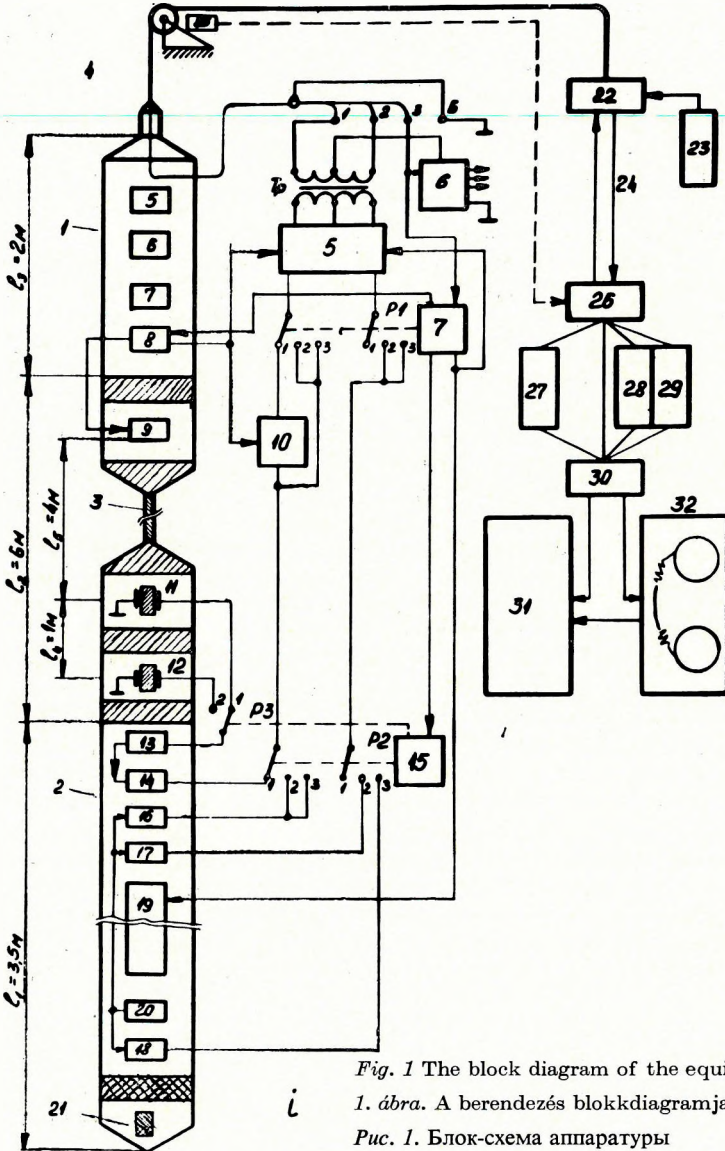


Fig. 1 The block diagram of the equipment

1. ábra. A berendezés blokkdiagramja

Рис. 1. Блок-схема аппаратуры

The upper part of the probe contains the high power amplifier stage (5), the power supplies (6), the synchronising and control unit (7), the electronics of the acoustic transmitter (8) and the acoustic transmitter itself (9).

The lower part contains the two acoustic receivers (11 and 12), the amplifier (13), the frequency modulator (14), the commutator (15), the neutron generator (19), the gamma-quantum and neutron detectors (16, 17 and 18) and the high voltage power supply (20). There is also room for the sources (21) necessary for the NGL and NNL measurements. As the transmitters and receivers are separated into the two parts of the probe, good acoustic isolation is ensured.

The system is operated by a three-core logging cable (4) and is powered from the surface, by 1000 Hz ac and dc power sources. The dc source supplies the tubes of the power amplifier and some auxiliary circuits. The ac source supplies the neutron generator, the acoustic transmitter and provides the different voltage levels required by the auxiliary circuits.

The signal sources, the receivers and the detectors are synchronized and controlled from the surface by the synchroniser unit (7). The information is transmitted to the surface in a time compressed form. The switching of the signal circuits is by high speed relays controlled by the synchroniser (7) and the commutator (15).

In conventional acoustic logging systems the information is transmitted directly by the well logging cable. Transmission is synchronized to the zero-crossing of the 50 Hz sine wave, thus reducing the possibility of industrial interference. The application of the 1000 Hz power supply excludes the use of this method. Besides harmonics from the acoustic frequency band may appear. This drawback may be eliminated by altering the spectrum of the acoustic signal and applying frequency modulation. If the upper frequency limit of the signal is decreased to 30 kHz, a carrier frequency of 120 kHz may be chosen.

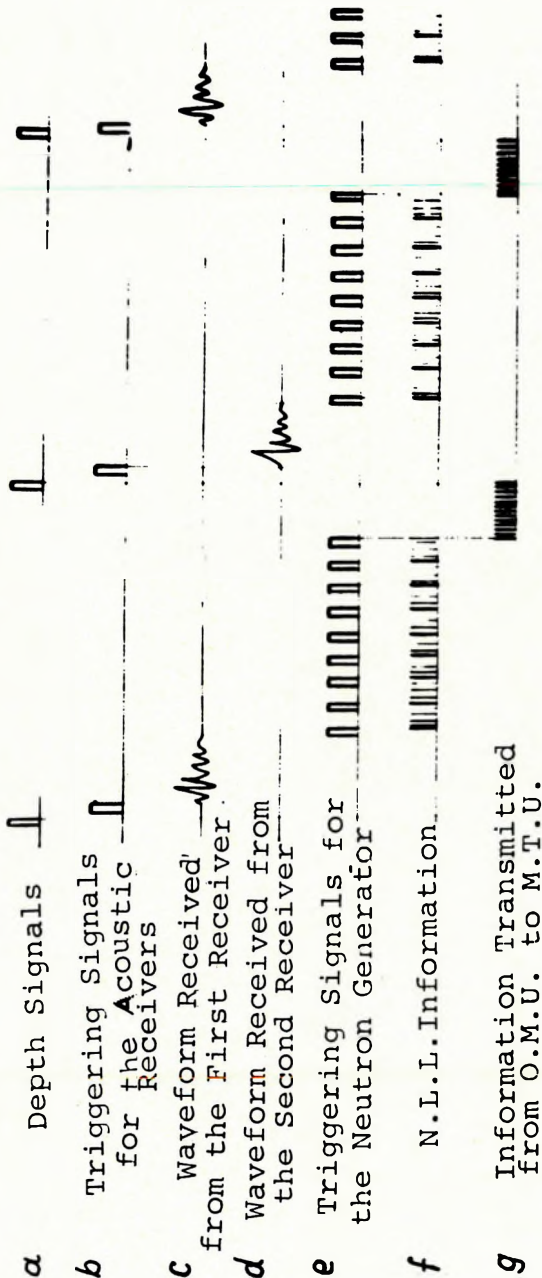
Informations from the nuclear detectors are transmitted through the cable by statistically coded impulses.

The probe and the KD-10 unit are connected and interfaced (24 and 22 respectively). The interface unit provides the probe with power (23), demodulates the acoustic signals, uniforms the nuclear pulses, selects and produces the synchronizing pulses needed for the triggering of the acoustic transmitter and the pulse neutron generator.

The uniformed signals are transmitted to the input panel (26) of KD-10 through the channel (24). The signals, digitized by the analogue to digital converter (27) are sent to the operative memory unit (29), then from here the information is transmitted to the magnetic tape unit (32) as governed by the control unit (30).

After receiving the signal from the depth encoder (25) placed on the well-head-wheel, the KD-10 issues the starting command to the interface unit (22) to start the cycle. Sensing this, the unit starts to execute the respective measurements. The command for the execution of the next cycle of identical measurements is given by the next depth signal. For example let us take the logging speed of AL, NGL (NNL), GR as 300 m/hr and the spacing between the depth marks as 15 cm, then the time interval between two depth signals will be 1800 msec. Theoretically this interval is sufficient to allocate the acoustic signal of one receiver into the operative memory and to write the information on the magnetic tape. The next depth signal will start the registration of the next signal. The NGL-GR informations are collected by two special counters. Counting starts at the moment when the registration of the acoustic signal in the memory is accomplished and lasts till the end of the cycle.

In AL-NLL mode, the logging speed is 100 m/hr and the interval between any two depth signals is 5600 msec. After recording the acoustic signal, the statistical data of the pulse neutron process are summed (Fig. 2). In this case the KD-10 is



h
Fig. 2 Time diagram

- a — depth signals
b — triggering signals for the acoustic receivers
c — waveform received from the first receiver
d — waveform received from the second receiver
e — triggering signals for the neutron generator
f — the NLL information
g — the information transmitted from O.M.U. to M.T.U.

2. ábra. Idődiagram

- a — mélységjelek
b — az akusztikus vevők indítójelei
c — az első vevő hullámformája
d — a második vevő hullámformája
e — a neutron generátor indítójelei
f — az impulzusüzemű neutron-karotázs információjára
g — operatív memóriából a mágnesszalagegységhez továbbított információ

Рис. 2. Временная диаграмма

- a — глубинные сигналы
b — пусковые сигналы для акустических приемников
c — волна, полученная от первого приемника
d — волна, полученная от второго приемника
e — пусковые сигналы для нейтронного генератора
f — информация ИНК
g — информация, передаваемая с ОЗУ к НМЛ

employed as a time analyser with identically delayed time windows. The probe contains an NT-16 neutron generator tube and is operated by a frequency of about 10 Hz.

As it can be seen from the time diagram of Fig. 2, after a certain number of neutron processes the information is transferred from the memory to the magnetic tape. Transmission of the acoustic information takes a couple of hundred msec.

Although this interval could be used for further summing of the NNL informations, the design and construction of such a mode would overcomplicate the KD-10.

It should be noted that in the future a processor unit (31) will be built into the KD-10 in order to preprocess the logging data.

REFERENCES

- ANATZKIY, A. M.—GRUMBKOV, A. P.—VAHRUSHIN, YU. R.—GUSEVA, N. S.—IVANOV, YU. M., 1973: The prospectives of the design of a gamma-quantum generator of 0.5–1.0 MeV energy. From "Communications on Neutron Generators for Well Logging". ONTI VNIKYAGG
- AFANASYEVA, I. L.—KUZNETZOVA, O. L.—SERGEYEV, L. A., 1974: The application of elastic and acoustic parameters for the determination of zones of secondary porosity and fluid content. From: Communications on "Geo-acoustic well logging". VNIKYAGG, Moscow
- BULATOVA, ZH. M.—VOLKOVA, E. A.—DUBROV, E. F., 1970: Acoustic Well-logging. Nedra, Leningrad
- DZEBAN, I. P., 1973: The effect of secondary porosity on the velocity and damping of elastic waves. From: Communications on "New instruments and methods of acoustic logging". VNIKYAGG, Moscow
- GULIN, YU. A., 1972: Gamma-gamma logging of oil wells. From "Nuclear Geophysical Methods". "Nauka" Publishing Company, Novosibirsk
- GOLOVATZKAYA, I. V., 1971: Multivariate Analysis of Carbonate Sediments of West Baskirian Reservoirs. From: Communications on "The Investigation of Productive Layers in Cased Wells by Nuclear Geophysical Methods." VNIKYAGG, Saratov
- KARUS, E. V.—KUZNETZOV, O. L.—OSADTSHII, O. P., 1974: Experimental-industrial check of the wideband acoustic well logging instrument in oil wells. Izvestiya VUZ/OV, "Geologija i Razvedka" No 10, Moscow
- KARUS, E. V.—KUZNETZOV, O. L., 1975: Acoustic logging of cased wells. "Fizika Zemli" No 4, Soviet Academy of Sciences, Moscow
- RIKHLINSKI, N. I.—MANDELBAUM, M. M., 1970: Equipment for the electrical logging of wells. Description of Patent No 266090
- The Investigation of Productive Layers by Geophysical Means in Cased Wells, During the Final Survey of Oil and Gas Occurrences. Technological Information. Moscow–Saratov, 1971

ARKAGYEV E. A.—GORBACSEV JU. I.—KARUSZ E. V.—PETROSZJÁN L. G.

ÚJ KOMPLEX NUKLEÁRIS ÉS AKUSZTIKUS LYUKSZELVÉNYEZŐ BERENDEZÉS

A cikk elsődlegesen a béléscsovezett fúrások vizsgálatára alkalmas szelvényezőberendezés fejlesztését ismerteti. Az elméleti tanulmányok és a jelenlegi technológiai lehetőségek szerint a feladatra az akusztikus, gamma-sugár, neutron-gamma, vagy neutron-neutron és a neutron-élettartam kombinációt valósítottak meg. A nagy tömegű és időosztásos rögzítést kívánó adatok, valamint a számítógépes feldolgozás a digitális regisztrálást tették szükségessé. Végül bemutatásra kerül a szelvényezőrendszer működési bloksémája.

АРКАДЬЕВ Е. А.—ГОРБАЧЕВ Ю. И.—КАРУС Е. В.—ПЕТРОСЯН Л. Г.

**КОМПЛЕКСНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ
И АКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН**

В работе описывается каротажная аппаратура предназначенная в первую очередь для исследования обсаженных скважин. Исходя из теоретических соображений и из существующих технологических возможностей, для этой цели реализован комплекс АК, ГК, НГК или НКК и ИНК. Большой объем данных, необходимость записи их в масштабе времени и их обработки на ЭВМ обусловили требование реализации цифровой записи. В заключение представляется схема работы каротажной аппаратуры.

FÜGGELÉK*

A SZERZŐK FIGYELMÉBE!

*„Aki valamit tíz szóval is el tud mondani,
de hússzal mondja el, az egyéb aljasságra
is képes”.*

(Carducci)

Valószínűleg a világ minden folyóiratának szerkesztősége küzd a rosszul összeállított kéziratokkal. A Geofizikai Közlemények Szerkesztőségének is sok gondot okoz ez a kérdés, és noha minden munkatársnak és minden magyar geofizikai intézménynek eljuttattuk a kéziratok benyújtási szabályait tartalmazó körlevelünket, a beadott kéziratok alaki minősége az elmúlt évek alatt semmit sem javult.

Az Amsterdamban 1969 januárjában megjelent új folyóirat, az Engineering Geology (Elsevier Publ. Co.) 3. kötetének 1. számát használta fel, hogy bizonyos instrukciókat adjon leendő szerzőinek.

Ezek az instrukciók szellemesek és nagyrészüik olyan általános érvényű, hogy érdemes saját kiadványunkhoz feldolgozva közölni ezt a cikknek is beillő szerkesztőségi közleményt, amelynek a folyóirat ezt a címet adta:

„JÓ TANÁCS SZERZŐKNEK”

(Ahol a Geofizikai Közlemények gyakorlata eltérő, erre külön kitérünk.)

A kézirat

Kérjük a kéziratot benyújtó szerzőket, hogy ne feledjék a nyelvi tisztaság, rövideg, következetesség és pontosság követelményeit. Minden mondat olyan egyszerűen tolmácsolja az igazságot, amennyire csak lehetséges. A végleges példány gépelt és kettős sorközű legyen, két indigós másolattal (ez vonatkozik táblázatokra, ábramagyarázatokra és lábjegyzetekre; az irodalomjegyzék 3-as sorközű legyen). Az eredetit és egy másolatot kell beküldeni a Szerkesztőségnek; a harmadikat tartsák fenn esetleges későbbi javításra. Ne göngyöljék vagy hajtsák össze a kéziratot, hanem simán küldjék. A kéziratot, vagy annak egyes lapjait ne kapcsológéppel, hanem gemkapoccsal rögzítsék egybe. A számozást egytől felfelé az egész kéziratban a felső jobb oldali sarokba kell írni. Pontosán meg kell jelölni, hogy hol kell kurziválni, de azt csak akkor szabad használni, ha nagyon szükséges. A kurziválás túlzott használata pusztán valaminek hangsúlyozásáért nyilván saját céljával ellentétes hatást kelt. Legyünk bőkezűek a térrel. Hagyjunk jó széles margót a papír mindkét oldalán. Ellenőrizzük a teljes kéziratot géphibák szempontjából

* Fordította és összeállította

Szénás György

és szenteljünk különös figyelmet a szakkifejezéseknek, latin neveknek stb. Bekezdések között külön sort hagyni nem szükséges. Ha valaki a szerkesztőségnek, vagy a szedőnek a margón utasítást akar írni, karikázza be. A szedő ugyanis feltételezi, hogy mindent szedni kell, ami a papíron van.

Mindehhez hozzátehetjük, hogy 30×21 cm nagyságú (A4 szabvány) fehér papírt kell használni és a lapnak csak egyik oldalára szabad gépelni. A lapok bal felső sarkán a szerző vezetéknevét fel kell tüntetni. Laponként 25 sort, soronként 50 betűt szabad gépelni.

A tanulmány szerkezete

Eredeti kutatásokról szóló beszámolók szerkezete általában a következő.

Címek: a cikk címe tömör, velős legyen és a cikk tárgyáról világos információt adjon. A következő sorban a szerző nevét kell feltüntetni úgy, ahogy a szerző kívánja. Ezután a szerzőnek a munkahelye, ill. intézménye, valamint ennek címe álljon.

A Geofizikai Közleményeknél a szerző neve mellé valamilyen indexet teszünk és alul lábjegyzetben tüntetjük fel munkahelyét.

Minden kézirathoz összefoglalást kell mellékelni. Ennek precízen, de röviden tartalmaznia kell a cikk lényeges részeinek a kivonatát. Az összefoglalás nem haladhatja meg a cikk terjedelmének 4 százalékát. Ha a cikket franciául vagy németül írják, az összefoglalás, amely a címet követi, angol nyelvű legyen, fölötte a cím angol fordításával. A *résumé* vagy *Zusammenfassung* a cikk nyelvén az angol összefoglalás után következik. Francia vagy német nyelvű cikkben az angol nyelvű összefoglalás általában tartalmasabb legyen, mint a cikk nyelvén írt összefoglalás.

A Geofizikai Közleményekben erre is természetesen más szabályok vannak; mi a cikkeket magyarul, angolul vagy oroszul jelentjük meg (összefoglalást e nyelven nem adunk), de az egyik vagy mindkét másik nyelven bőséges összefoglalóval A tanulmány címét és a szerző nevét az összefoglalásban is fel kell tüntetni. Az összefoglalások (saját nyelvű címmel) a cikket követik.

Bevezetés: A Bevezetés nagyon rövid legyen, tűzze ki a kutatások tárgyát és célját. Ezenkívül említse meg a tanulmány általános aspektusait.

Módszertan, tanulmányozott anyag, területi leírás: ezeket nagyon precízen kell közölni, technikai részleteket azonban csak akkor szabad adni, ha szükséges vagy nagyon lényeges a cikk megértéséhez, vagy ha eredetiségük jogossá teszi közlésüket.

Eredmények: ezeket világosan és precízen kell közölni jól szerkesztett és objektív formában; spekulációk, találgatások elkerülendőek, vagy minimumra csökkentendők. Illusztrációk, táblázatok és diagramok azonban alkalmazhatók.

Következtetések levonása: ez a rész az eredmények tömör értelmezését tartalmazza. Meg kell jelölni különleges vagy általános jelentőségüket, továbbá esetleges azonosságukat valamivel, vagy eltérésüket valamitől, amit a szerző vagy más kutató korábban megállapított. Irodalmi szemle ebben a részben az ésszerű minimumra csökkentendő.

Köszönetnyilvánítások: köszönetet csak jelentős közreműködésért kell nyilvánítani. Egy rövid záró megállapítás rendszerint megteszi. Ilyen megjegyzéseket, hogy pl. „ezt a cikket . . . engedélyével közöljük”, szintén itt kell megtenni. Semmi esetre se közöljük az ilyen megjegyzéseket lábjegyzetként az első oldalon.

Hivatkozások: a részletes instrukciókat lásd később.

Oldalszámra való hivatkozás

Ilyesmit nem lehet véglegesen beírni, ameddig a tördelt korrektúra kéznél nincs. Helyette tehát ezt kell gépelni: lásd a 000. oldalon. A tartalomjegyzéket is csak a tördelt korrektúra birtokában lehet lapszámozni. Későbbi tájékozódás végett a saját példányon is ceruzával meg kell jelölni a helyes oldalszámot.

Táblázatok és illusztrációk

Minden ábrát, fényképet és táblázatot külön kell beadni, *nem* az oldalakra ragasztva és *nem* összehajtva. Soha ne hivatkozzunk táblázatokra vagy illusztrációkra olyan kifejezésekkel, amelyek „a következő”, „a fenti”, „az alábbi” megjegyzéseket tartalmazzák. Néha technikailag lehetetlen a táblázatot vagy illusztrációt úgy elhelyezni, hogy az ilyen megjegyzések valamelyikének megfeleljen. Mindig így hivatkozzunk: 1. ábra, 3. táblázat stb.

A szerző jelölje meg a lap szélén, hogy hová szeretné elhelyezni a táblázatot vagy illusztrációt. Minden táblázatot címmel kell ellátni. Minden ábrának legyen jelmagyarázata, hogy az anyagot teljessé és érthetővé tegyék. Az ábracímeket és jelmagyarázatokat külön jegyzékbe foglaljuk és csatoljuk a kéziratához. Ha a cikket franciául vagy németül írták, angol nyelvű magyarázatot is kell adni.

A Geofizikai Közlemények szabályai ebben a kérdésben természetesen szintén eltérők: az összefoglaláshoz hasonlóan az ábrajegyzéket is — a magyarokon kívül — két nyelven közöljük: angolul és oroszul; amszterdami lapársunknak az a megjegyzése azonban, hogy a jelmagyarázatot az ábrafelirattal együtt külön jegyzékbe foglaljuk, nálunk is érvényes, sőt hangsúlyozzuk, hogy — nyelvünk elszigeteltsége miatt — az ábrák tükrén soha, semmiféle felirat ne legyen, kivéve nemzetközileg érthető szimbólumokat és képleteket.

Az ábrák és táblázatok számát ceruzával hátoldalukra kell írni. Fényképek és ábrák nagyobb méretben készítenődök el, mint ahogyan nyomtatni fogják. Ha az illusztrációknak további tagolása szükséges, ezt az illusztráció számához írt a), b), c) stb. betűkkel jelöljük. Ezek a betűk magán az ábrán is feltüntetendők.

Ha a szerző saját kéziratának ábrájára hivatkozik, az ábra szó kezdőbetűjét nagybetűvel írja. Ha más publikációra hivatkozik, kisbetűvel kell írni (*a Geofizikai Közlemények ezt a szabályt nem követi*).

Az ábra szót nem szabad alkalmazni egész lapos ábrák részleteire. A saját kéziratban szereplő egész lapos (hátoldalán nem nyomtatott) ábra részletére nagybetűvel hivatkozunk, más publikációban szereplőre pedig kisbetűvel.

Ez szintén nem vonatkozik a Geofizikai Közleményekre, amely egyébként sem tesz különbséget ábra és egész lapos ábra között.

Vonalas rajzok tussal, fehér papírra vagy pauszra rajzolandók. Milliméterpapírt lehetőleg ne használjunk, de ha használjuk, kék vonalazású legyen és a lényeges vonalat (koordinátát) tussal utána kell húzni. A rajzok méretét úgy kell tervezni, hogy valamennyire ugyanaz a kicsinyítés (pl. az eredeti $\frac{1}{4}$ -e) legyen alkalmazható. A szöveget a rajzokon ceruzával kell megjelölni.

A Geofizikai Közleményeknél — amint említettük — a szöveg az ábra tükrén sem ceruzával, sem másképpen nem szerepel és a Geofizikai Közlemények — nyomda-technikai okok miatt — csak pausz-ábrát fogad el.

Diagramok görbéi vastag vonallal húzandók; minden illusztrációnak a fontos részleteit kell kiemelni.

Fényképek csak akkor fogadhatók el, ha megfelelő fényerővel készültek és kontrasztosak. Éles, fényes fényképek szükségesek, hogy a nyomásnál jól tompított tónusokat kapjunk. Már megjelent cikkből fényképreprodukciókat nem fogadunk el.

Táblázatok. A táblázatok anyaga táblázatos formában adandó meg és külön oldalra gépelendő. A táblázatokat a szövegben való sorrendjük szerint kell számozni. Az oszlop címek rövidek és önmagyarázók legyenek. A szerzők kerüljék el a táblázatokba vagy ábrákba foglalt anyag szövegben való ismétlését. A táblázatoknál a függőleges vonalazást — a lehetőség szerint — kerüljük el, ill. az oszlopok elkülönítésére ne függőleges vonalat használjunk. Rövid címet kell adni közvetlenül minden táblázat felett. Bármilyen magyarázó szöveg — amely a táblázat megértéséhez szükséges — a táblázat alján lábjegyzetben szerepeljen.

Címek

A címek lehetőleg rövidek legyenek. Az 1. oldalon a tanulmány címét a szerző neve és munkahelyének megjelölése kövesse. A címek egymás közötti viszonyát (főcím, alcím) a következőképpen jelöljük: nagybetű szélén, kurzív szélén, kurzív bekezdésszerűen, kurzív a sorban. Az ilyen címviszonyítást nem kell számozni. Ha a negyedik szint után további osztás is szükséges, arab számokat vagy kisbetűket használjunk.

A Geofizikai Közlemények szívesen veszi a decimális számozást, ami ezt a kérdést — minden tipográfiai ügyeskedés nélkül is — megoldja; tény azonban, hogy a decimális beosztást nem lehet végtelenségig vinni, tehát a negyedik decimális szám után a Geofizikai Közlemények Szerkesztősége is tanácsolja a nagy vagy kis latin betű használatát.

Minden oldalra egy 45 betűnél nem hosszabb előfej is szükséges.

Matematikai jelzések

Elemi algebrai számításoknál, differenciálásoknál integrálásoknak részleteit megadni szükségtelen. A követett eljárásra csak utalni kell.

A matematikai jeleket olvashatóan kell írni és a görög betűket a lap szélén, ahol a legközelebb kerülnek a szövegbe írt jelhez, ki kell betűzni (kappa, lambda stb.).

A Geofizikai Közlemények — talán némi túlzással, amelyet azonban a gyakorlat igazolt — ennél többet kíván: Szerkesztőségünk kéri, hogy a szerzők ceruzával bekarikázva, pontosan írják ki a lap szélére a megfelelő görög betűt, pl. kis görög kappa, nagy görög gamma.

Képleteket a szövegbe kézzel célszerű beírni. Egyszerű törtrekre nem vízszintes vonalat, hanem az írógép per (/) jelét használjuk, pl. $\frac{I_p}{2m}$ -et írjuk $I_p/2m$ alakban.

Éppen ezért, ahol szükséges, a félreértések elkerülésére rajzolt zárójelet használjunk, ugyanis $1(n+1)$ és $1/n+1$ különböző mennyiségek, amelyek a nyomásnál nem különböztethetők meg pontosan jelzett zárójelek nélkül. Ha azonban az egyenleteket és képleteket külön sorba írjuk, mégis célszerűbb a vízszintes vonal használata.

Az egyenleteket a lap jobb szélén zárójelben sorszámozni kell, de csak olyan egyenleteket érdemes sorszámozni, amelyekre a szövegben konkrét hivatkozás történik.

A nem egész számú kitevőket inkább törtekifejezésekkel, mint gyökjelekkel jelöljük. Az *e* kitevői gyakran kényelmesebben és elegánsabban jelölhetők pl. így: exp. $|z/h$, exp. $|p \cos x|$ stb.

A Geofizikai Közlemények a szerzők tetszésére bizza e jelölések használatát.

Ahol nincsen félreértés veszélye, a szorzójel helyett pontot használjunk.

Vegyí képletek

A vegyi képletek különlegesen nagy sorközszel gépelendők, sőt — ha szükséges — kézzel irandók, de igen olvashatóan. Szorzójel helyett pontot kell használni. Az ionok vegyértékét a következőképpen kell megadni: Ca^{2+} és CO_3^{2-} . Kerüljük az ilyen jelzéseket: Ca^{++} vagy CO_3^{-} .

Lábjegyzetek

A lábjegyzetekkel takarékoskodjunk. Ha használatuk elkerülhetetlen, kitevő-szerűen elhelyezett sorszámot kapjanak a szövegben. A lábjegyzet szövege a szövegbe illesztendő be, közvetlenül azon sor alá, amelyre vonatkozik, nem pedig a kézirati lap aljára. A főszövegtől vízszintes vonalakkal kell elválasztani. A táblázatok lábjegyzetei a táblázat alján adandók meg, és szintén kitevőszerű számokkal jelölendők.

A Geofizikai Közlemények szabályai ettől eltérnek: a lábjegyzeteket külön lapra, sorszámozva kell gépelni; a szövegben csak e sorszámokat kell kitevőszerű számmal feltüntetni. Mi is helyesnek tartjuk azonban, hogy minél kevesebb lábjegyzet legyen.

Irodalmi hivatkozások

Az irodalmi hivatkozás a tanulmány végére kerül és meg kell, hogy feleljen a szükségesség és elégségesség feltételének. Általában csak olyan munkát vegyünk fel erre a listára, amelyre specifikusan hivatkoztunk a szövegben. Az irodalomjegyzéket nem szabad bibliográfiának tekinteni, kivéve ha a tanulmány természete ezt megköveteli, pl. egy szemle jellegű cikknél.

Az egész kéziratban egységesen a következő rendszert kell alkalmazni: a szövegben a szerző nevével és a publikáció évével kell hivatkozni. Ha szükséges, a megfelelő lapokra való rövid hivatkozás is megengedhető. Példák: „Minthogy PETERSON (1959) kimutatta, ...”, „Ez összhangban van korábban kapott eredményekkel (KRAMER, 1959. pp. 12—16)”.

A Geofizikai Közlemények szabályai ezzel egyeznek, azzal a különbséggel, hogy oldalszámra való hivatkozást (bárhol) csak vastag könyveknél javasoljuk feltétlenül.

A szövegben a szerző nevét keresztnevének kezdőbetűje nélkül adjuk meg, kivéve ha azonos vezetéknevű szerzőkre való hivatkozás zavart okozna.

Ha olyan publikációra hivatkozunk, amelyet kettőnél több szerző írt, az első szerző nevét kell használni és utána ezt kell írni: *et al.*

Ha személyes, ill. szóbeli közlésre hivatkozunk, a név után a „szóbeli közlés” kifejezést és az évszámot kell használni zárójelben. Pl. (J. Mc. NARY, szóbeli közlés, 1958).

Táblázatokban a hivatkozás ugyanúgy történik, mint a szövegben. Ha csak egy számnnyi hely áll rendelkezésünkre, akkor lábjegyzetbe kerüljön a hivatkozás.

A kézirat végén levő irodalmi jegyzékben valamennyi szövegi hivatkozást fel kell sorolni. Ez a jegyzék alfabetikus legyen és minden szerző keresztnevének kezdőbetűi a vezetéknev után álljanak. Olyan munkákat is feltüntethetünk, amelyekre a szövegben közvetlenül nem hivatkozhatunk (*a Geofizikai Közleményeknél nem!*).

Ahol szerző neve nem adható meg (mert nincs), a vállalat, intézet, ill. szolgálat nevét kell megadni, amely az adatokat gyűjtötte vagy közzétette. Az ilyen hivatkozást is a publikáció éve kövesse. A jogi személyek nevét teljesen ki kell írni. A rövidítést, ha szükséges, az ELSEVIER kiadó maga végzi; ily módon a következetesség az egész lapban biztosítható.

Ha olyan közleményre hivatkozunk, amely nem angolul jelent meg, az eredeti cím is megtartandó. Mindemellett a cirill, görög, héber vagy arab abc-t a latin abc-re át kell betűzni, kivéve ha az eredeti tanulmány címét valamely latin betűs nyelven is megadták. Segíti az olvasót, ha a fordított címhez hozzáírjuk, hogy pl. „oroszul” vagy „görögül”, vagy „héberül, angol összefoglalással”. Az angolra való transliteráláskor a spanyol *Ch*, a *C*-k között, a svéd *Å* az *A*-k között, a dán *Ø* az *O*-k között jelenjék meg. Ékezetek és mellékjelek az eredeti nyelvnek megfelelően jelölendők.

Folyóiratok címeit a Chemical Abstracts 1961. évi számában megjelent „List of Periodicals Abstracted” szerint kell rövidíteni.

Ha valakinek ez a jegyzék nem áll rendelkezésére, a folyóirat teljes nevét adja meg és az ELSEVIER kiadó végzi a szükséges rövidítéseket.

Magyarországon természetesen a magyar abc-t kell használni, tekintet nélkül a betű kiejtésére. A folyóiratok nevének rövidítését a Geofizikai Közlemények sem bizza a szerzőkre. A szerzők adják meg a teljes nevet és a szerkesztőség végzi el egységesen a rövidítést.

Az „et al.” megjelölés az irodalmi jegyzékben nem használható. A szerzők és társszerzők — sőt, ha szükséges, a társszerkesztők — teljes nevét meg kell adni. A keresztneveket azonban nem kell kiírni, a kezdőbetű, ill. kezdőbetűk megteszik.

Az irodalmi hivatkozások tehát a következő részeket tartalmazzák.

Folyóiratoknál: TALWANI, M., 1964: A review of marine geophysics. *Marine Geol.*, 251 (2): 29—80.

A Geofizikai Közleményeknél — mint említettük — az oldalszámra nem feltétlenül kell hivatkozni; a kötet mellett viszont a számot is meg kell jelölni.

Könyveknél: RUTTEN, M. G., 1962: The geological aspects of the origin of life on Earth. Elsevier, Amsterdam, 146 pp.

A Geofizikai Közlemények könyvkiadással rendszerint nem foglalkozik.

Többszerzős kötetnél, szimpóziumok nyomtatásban megjelent anyagánál stb.: Byers, H. R., 1965: The relation of lightning and thunderstorms to meteorological conditions. In: S. C. Coroniti (Editor). Problems of Atmospheric and Space Electricity. Elsevier, Amsterdam, pp. 491—496.

A továbbiakban a közlemény két fejezetben öslényntani és sztratigráfiai nevek, kifejezések kézirati utasításait adja meg. Ezeket mellőzzük, minthogy a Geofizikai Közlemények szerzői ilyen problémával ritkán kerülhetnek szembe. Ha mégis felvetődik ilyen probléma, akkor erre egyrészt nemzetközi nomenklatúra van, másrészt — ha a magyar ettől eltér — a MÁFI hivatalos nomenklatúráját, ill. jelölési módját kell alkalmazni.

Van azonban még egy záró fejezet, amelyet érdemes szó szerint közölni.

megaciklus/sec	Mc/sec
milligramm	mg
perc	min
milliliter	ml
millisec	msec
átlagos tengerszint (mean sea level)	M.S.L.
millimikron	$m\mu$ (kis kurzív görög mú egy kis m után)
porozitás	n
észlelések száma	N
Oersted	Oe
nyomás	p
oldal	p.
hidrogénpotenciál	pH
oldalak	pp.
milliomod	p.p.m.
kisülési viszony	q
korrelációs koefficiens	r
gázállandó	R
másodperc	sec
sinus	sin
a szó tágabb értelmében (sensu lato)	s.l.
a szó szűkebb értelmében (sensu stricto)	s.str.
telítettségi fok	S_t
hőmérséklet (C°)	t
idő	t
abszolút hőmérséklet	($^\circ K$) T
tangens	tg
pórusnyomás	u
konzolidáció foka	U
áramlási sebesség	v
Volt	V
folyási határ	w_L
plaszticitási határ	w_p
zsugorodási határ	w_s
Watt	W
a felszín feletti függőleges magasság	z
lejtőszög	β (kis kurzív görög béta)
10^{-5} Gauss	γ (kis kurzív görög gamma)
talajtérfogatsúly	γ (kis kurzív görög gamma)
légszáraz talajsűrűség	γ_d
a szilárd részek sűrűsége	γ_s
normálfeszültségek	$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ (kis kurzív görög epszilon)
nyírófeszültségek	$\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx}$
viszkózitási együttható	η (kis kurzív görög éta)
GP paraméter	$\eta \%$

hullámhossz	λ (kis kurzív görög lambda)
hosszúság (földr.)	Λ (nagy görög lambda)
mikron	μ (kis kurzív mú)
frekvencia	ν (kis kurzív görög nü)
sűrűség	ρ (kis kurzív görög rhó)
látszólagos fajlagos ellenállás	ϱ_a
normál hidrosztatikus nyomás	σ (kis kurzív görög szigma)
nyírónyomás	τ (kis kurzív görög tau)
nyíróerő	τ_f
nyíróellenállás látszólagos szöge	φ_ω (kis kurzív görög fi)
nyíróellenállás tényleges szöge	φ'
szélesség (földr.)	Φ (nagy görög fi)
szeizmikus sebesség	V
Ohm	Ω (nagy görög omega)
százalék	%
ezrelék	‰

Ez a jegyzék — amint említettük — hiányos még eredetijéhez képest is, mert a sajátosan angolszász fogalmakat kihagytuk. A jegyzék sorrendje nem mindenütt felel meg a magyar abc-nek, mert az eredeti jegyzék sorrendjét követtük.

*Idézettel kezdtük, idézettel fejezzük be. *Quiquid agis, prudenter agas et respice finem*, vagyis bármit végzel, ésszel tedd és ügyelj a kimenetelére.*