

menata. Volumenska gustoća D_b stijene koja se na ovaj način registrira ovisi o porozitetu Φ , gustoći matrice D_g i gustoći fluida D_f u porama. Ako su poznati gustoća matrice i gustoća fluida, prema izmjerenoj volumenskoj gustoći može se odrediti porozitet:

$$\Phi = \frac{D_g - D_b}{D_g - D_f} \quad (18)$$

Neke vrijednosti gustoće matrice D_g jesu: pijesci, pješčenjaci i kvarciti $2,65 \text{ g cm}^{-3}$; vapneni pješčenjaci $2,68 \text{ g cm}^{-3}$; vapneni $2,71 \text{ g cm}^{-3}$; dolomiti $2,87 \text{ g cm}^{-3}$. Gustoća fluida obično je $\sim 1 \text{ g cm}^{-3}$ zato što se u propusnim formacijama na maloj dubini iza zida bušotine nalazi filtrat isplake, a doseg ovih mjerenja relativno je malen. Noviji uređaji sustavom dvaju detektora i elektroničkim računalom automatski korigiraju utjecaje isplake, grubosti zida bušotine te isplačne obloge.

Ostale karotажne metode

Karotажa temperature obavlja se na taj način da se električni termometar spušta u bušotinu u kojoj je fluid neko vrijeme mirovao da bi mu se izjednačila temperatura s okolicom, pa se mjeri promjena temperature s dubinom.

Temperatura s dubinom raste prema nekom gradijentu, a registrirane anomalije u normalnom gradijentu mogu biti indikacije za rješenje nekih problema. Sniženje temperature u razini nekog propusnog sloja pri istraživanju nafte i plina može biti indikacija da je to plinski sloj iz kojeg je plin, što ekspandira u bušotinu, oduzeo dio topline i time snizio temperaturu. Do naglog povišenja temperature ispod nekog horizonta u bušotini dolazi ako je za vrijeme bušenja došlo do gubitka isplake u tom horizontu, tako da je odvođenje topline ispod njega mnogo manje jer se smanjila cirkulacija. Problem visine cementacije u naftnim bušotinama također se može riješiti temperaturnim mjerenjima, jer cement pri vezivanju stvara toplinu i time povisuje temperaturu.

Karotажa nagiba slojeva u bušotini također se rješava geofizičkim mjerenjima. Ako neki sloj koso presijeca bušotinu, a ima otpornost različitu od otpornosti susjednih formacija, onda se registracijom promjene otpornosti po obodu bušotine u tri točke može odrediti nagib sloja. Iz triju registriranih krivulja otpornosti očitaju se dubine promjene, a prikladnim instrumentom izmjere se ostali elementi potrebni za prostorno određivanje položaja sloja. Pored ovih mjerenja postoje i druga, rjeđe primjenjivana, kao što su mjerenja magnetskih svojstava stijena u bušotini, mjerenja u proizvodnim bušotinama itd.

K. Jelić

Geofizičke metode danas su prijeko potrebne za mnoga istraživanja u Zemljinoj kori. Istraživanja nafte praktički se više i ne provode bez geofizike, u prvom redu reflektivne seizmike te geofizičkih mjerenja u bušotinama. U istraživanju ruda, geofizičke metode najuspješnije su za masivne ili raspršene metalne sulfide te magnetit, ali su izvanredni uspjesi postignuti geofizičkim istraživanjem i mnogih drugih ruda, npr. zlata, različitih soli i fosfata te urana. U istraživanju vode, geofizičke metode su također već veoma važne, a sve više se primjenjuju i u inženjerskogeološkim istraživanjima te istraživanjima izvora geotermijske energije.

Ž. Zagorac

LIT.: C. H. Dix, Seismic prospecting for oil. Harper and Brothers, New York 1952. — M. M. Slotnick, Lessons in seismic computing. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa 1959. — V. Fritsch, Elektrische Messungen an räumlich ausgedehnten Leitern. G. Braun, Karlsruhe 1960. — M. Sato, H. M. Mooney, The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. Geophysics, 25 (1960), 226/249. — И. М. Блох, Электропрофилирование методом сопротивлений. Госгеолтехиздат, Москва 1962. — J. J. Jakosky, Geofizička istraživanja. Naučna knjiga, Beograd 1963. — В. Н. Головин, Электроразведка. Изд. Академ. Наук Украин. ССР, Киев 1963. — А. Г. Тархов, Электроразведка, Справочник геофизика, III. Госгеолтехиздат, Москва 1963. — И. И. Гурич, Сейсморазведка. Недра, Москва 1964. — В. В. Федьинский, Разведочная геофизика. Недра, Москва 1964. — Б. А. Андреев, И. Ф. Клушин, Геологическое истолкование гравитационных аномалии. Недра, Ленинград 1965. — G. Kunetz, Principles of direct current resistivity prospecting. Gebrüder Borntraeger, Berlin 1966. — E.

A. Мудрецова, Гравиразведка. Недра, Москва 1968. — The Robinson-Treitel reader. Seismograph Service Corp., Tulsa 1969. — А. И. Заборавский, В. Е. Никитский, Магниторазведка. Недра, Москва 1969. — H. O. Seigel, Induced polarisation method. Mining in Canada, Oct. 1970. B. S. Evenden, D. R. Stone, N. A. Anstey, Seismic Prospecting instruments, vol. 1, 11. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart 1970 i 1971. — L. L. Nettleton, Elementary gravity and magnetics for geologists and seismologists. Society of exploration geophysicists, Tulsa 1971. — В. А. Комаров, Электроразведка методом вызванной поляризации. Недра, Ленинград 1972. — S. Brainer, Application manual for portable magnetometers. Geometrics Co, Sunnyvale 1973. — D. S. Parasnis, Mining geophysics. Elsevier, Amsterdam 1973. — С. Г. Комаров, Геофизические методы исследования скважин. Недра, Москва 1973. — Ю. В. Якубовский, Электроразведка. Недра, Москва 1973. — O. Kappelmayer, R. Haenel, Geothermies, Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart 1974. — H. Christoph, H. Amstead, ed., Geothermal energy. The Unesco Press, Paris 1974. — M. B. Dobrin, Introduction to geophysical prospecting. McGraw Hill, New York 1976. — Б. К. Куницыков, М. К. Куницыкова, Общий курс геофизических методов разведки. Недра, Москва 1976. — L. L. Nettleton, Gravity and magnetics in oil prospecting. McGraw Hill Inc, New York 1976. — J. S. Summer, Principles of induced polarisation for geophysical exploration. Elsevier, Amsterdam 1976. — W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sherriff, D. A. Keys, Applied geophysics. Cambridge university press, Cambridge 1976.

K. Jelić S. Kovačević Z. Krulc
A. Nowinski Ž. Zagorac

GEOID, pravi oblik Zemlje, a definiran je površinom mirnog mora produženom kroz kontinente. To je nivo-ploha polja gravitacije i kao takva u svakoj je svojoj točki okomita na smjer sile teže. Takva definicija usvojena je 1873, a na prijedlog njemačkog fizičara J. Listinga za takav — pravi oblik Zemlje prihvaćen je naziv geoid.

Strogo uzevši, srednja razina mora i nije nivo-ploha, jer u morima postoje struje koje dokazuju da se voda ne nalazi u potpunoj ravnoteži. Ta pojava, međutim, vrlo malo utječe na razinu i nema praktičnog značenja. U pojedinim državama određuje se srednja razina mora višegodišnjom registracijom. To prvenstveno služi kao polazna kota za određivanje nadmorske visine pojedinih točaka na svom teritoriju. Geoid je referentna ploha za sve nadmorske visine (kote), za visinsku predodžbu Zemljine fizičke površine. Budući da pojedine države, koje graniče s morima, svaka za sebe određuju srednju razinu mora i polaznu kotu, u praksi ne postoji jedinstveni geoid. Taj je nesklad, međutim, tako malen da se ni najpreciznijim mjerenjima, povezujući međusobno te nulte točke preciznim nivelmanom, ne bi mogao sa sigurnošću utvrditi.

Zbog nejednolične raspodjele gustoće mase Zemlje ploha geoida je nepravilna, pa prema tome i neprikladna za geodetska računanja, osobito računanja i davanja točnih koordinata-položaja točaka. Za sva geodetska računanja i kartografska prikazivanja rezultata tih računanja polazi se od ploha elipsoida određenih dimenzija kao najbliže aproksimacije geoida. Na temelju najnovijih istraživanja zaključuje se da se ploha geoida znatnije ne razlikuje od plohe dobro odabranog elipsoida (najčešće nekoliko desetaka metara, a najveća je razlika 160m). Zbog različitog smještaja Zemljinih masa i različite njihove gustoće, smjerovi viska, tj. vertikala V , neće se svuda poklapati sa smjerovima geometrijske normale N na elipsoid. Geoid kao nivo-ploha potencijalnog polja okomit je u svakoj svojoj točki na smjer vertikale (sl. 1). Masa brda M privući će nešto visak, pa će smjer vertikale biti otklonjen od smjera normale. Kutna se razlika smjerova N i V naziva *otklonom vertikale*. Otklon vertikale uzrokuje vidljive mase. No otklon vertikale može se pojaviti i u ravnim predjelima gdje ga uzrokuje nehomogenost gustoće mase u dubini.

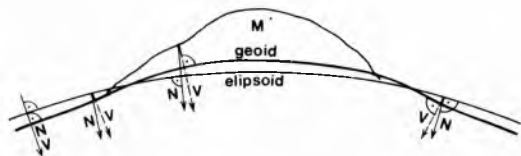
Astronomskim mjerenjima određuje se geografska širina i duljina neke točke na Zemljinoj površini. Položaj točke određen je smjerom vertikale — kutom što ga zatvara vertikala s ravninom ekvatora i udaljenošću meridijana kroz točku od ravnine početnog meridijana.

Pri računanju na elipsoidu položaj se točke od neke početne određuje duljinom geodetske linije i azimutom. Računanjem se dobivaju koordinate tražene točke, a tim koordinatama odgovara jedna normala na elipsoidu. Ove koordinate nazivaju se geodetske koordinate.

Otklon vertikale, tj. kutna razlika smjerova normale i vertikale razlika je geodetskih i astronomskih koordinata. I jedne i druge koordinate izražavaju se u kutnoj mjeri od ekvatora i od početnog meridijana. I jedne i druge označuju se sa φ i λ , no kad se uspoređuju tad se geodetske koordinate označuju B , L i A , a astronomske φ , λ i α (A i α je geodetski odnosno astronomski azimut).

Na temelju rasporeda vidljivih masa (prikazivanja Zemljine fizičke površine na topografskim kartama) može se u svakoj točki izračunati otklon vertikale. No to je tada samo topografski dio otklona, jer nisu poznate promjene gustoće masa u dubini.

Sila Zemljine teže u nekoj točki karakterizirana je ubrzanjem g . Svaka jedinica topografske mase m_i proizvest će komponentu \vec{f}_i okomito na neporemećeni smjer sile teže (sl. 1). Rezul-



Sl. 1. Primjeri kutne razlike normale na elipsoid i vertikale na geoid

tanta $\sum \vec{f}_i$ bočnih komponenta od svih topografskih masa dat će otklon

$$\tan \Theta = \frac{f}{g}; \quad \text{ili} \quad \Theta'' = \frac{f}{g} g'', \quad (1)$$

gdje je $|\sum \vec{f}_i| = f$. Obično se pretpostavlja da je gustoća površinskih masa jednaka polovici srednje Zemljine gustoće. Otklon može biti u bilo kojem smjeru, pod nekim azimutom ϑ (azimut se mjeri od smjera prema sjeveru, u smjeru gibanja kazaljke na satu). Komponente su u smjeru meridijana i u smjeru okomito na meridijan: $\xi = \Theta \cos \vartheta$ i $\eta = \Theta \sin \vartheta$.

Razrađene su različite metode za relativno lako i brzo izračunavanje topografskog otklona. Razlike topografskog otklona (otklon za topografiju) i pravog, cjelokupnog otklona (razlike geodetskih i astronomskih koordinata) pokazuju postojanje podzemnih masa veće ili manje gustoće u neposrednoj blizini promatrane točke. Pravi, puni otklon vertikale dobiva se iz razlike geodetskih i astronomskih koordinata.

Otkloni vertikale mogu iznositi nekoliko sekunda, a u izuzetnim slučajevima i do dvadeset sekunda. U Jugoslaviji se najveći otklon pojavljuje uzduž primorsko-dalmatinsko-crnogorskog lanca i doseže do $20''$. Na temelju podataka o veličini otklona proizlazi zašto se ne mogu za izmjeru upotrijebiti astronomske koordinate. Pretpostavi li se samo mali otklon od $2''$, mjerenja po geografskoj širini imat će pogrešku položaja točke ~ 60 m. Geodetskim se mjerenjima postiže točnost reda veličine od nekoliko centimetara. Astronomska mjerenja služe samo za orijentaciju geodetske mreže osnovnih točaka, za što bolju aproksimaciju plohe elipsoida na cjelokupnoj teritoriji (površini geoida), te za određivanje osnovne vrijednosti geodetskih koordinata jedne točke, koja se od svih astronomskih točaka odabere kao početna, pa se prema tim koordinatama koje se uzimaju za ishodišne izračunavaju na plohi elipsoida koordinate svih točaka osnovne geodetske mreže, koja pokriva cijelu državu. Astronomske su točke rijetke zbog dugotrajnosti mjerenja. U nas su postavljene na udaljenosti 100 do 200 km.

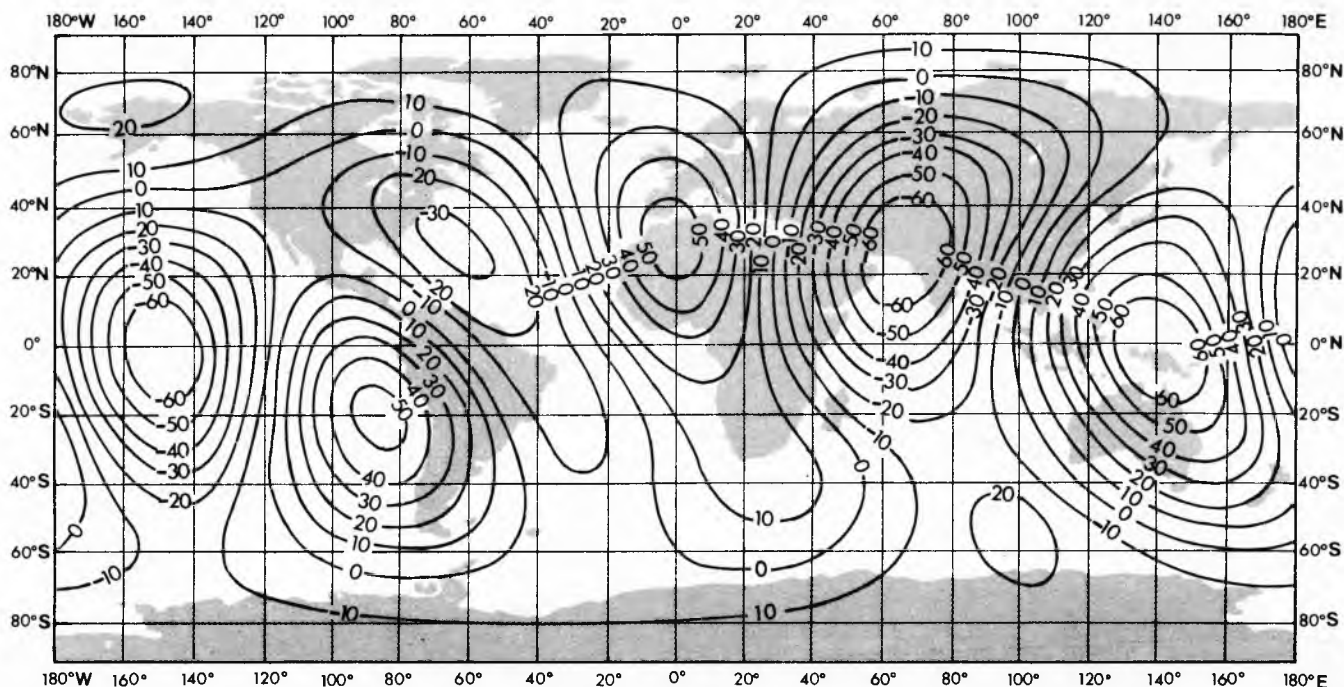
Astronomsko-geodetskim izjednačenjem (uz zahtjev da otkloni budu na svim astronomskim točkama što manji) postiže se približenjem plohe elipsoida plohi geoida. Tako će se dobiti u svakoj astronomskoj točki odgovarajuće otkloni vertikale, tj. komponente otklona ξ i η . Dobit će se također početna osnovna točka A s komponentama otklona ξ_A i η_A , pa i polazne geodetske koordinate osnovne točke za sve proračune koordinata

$$B_A = \varphi_A - \xi_A; \quad L_A = \lambda_A - \eta_A \sec B_A; \quad A_A = \alpha_A - \eta_A \tan B_A. \quad (2)$$

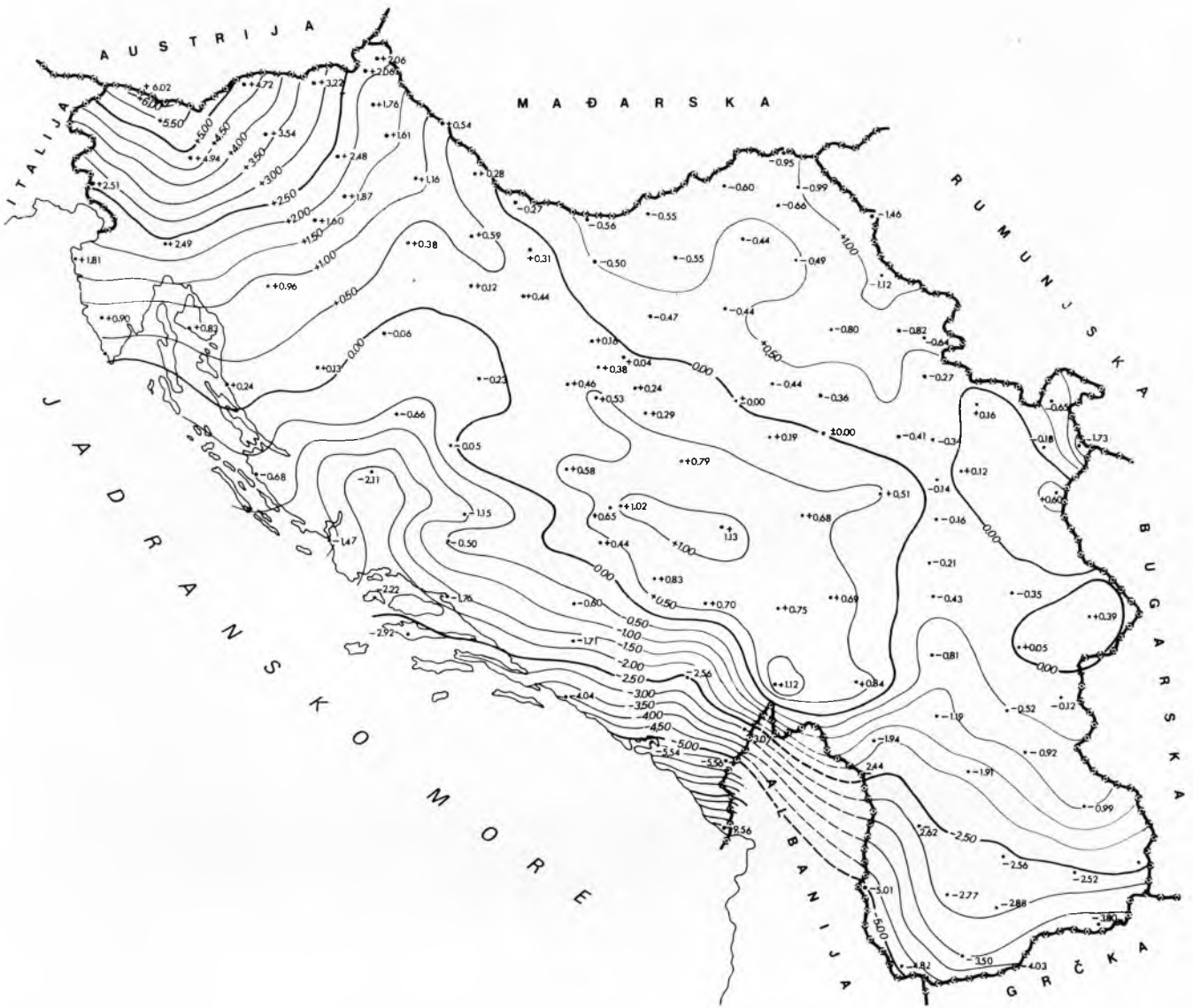
Astronomske koordinate nisu više potrebne, a umjesto njih upotrebljavaju se odgovarajuće geodetske koordinate (2).

Elipsoid je, dakle, referentna ploha za računanje međusobnih odnosa i položaja točaka na njemu, a za geoid mogli bi donekle reći da je referentna ploha za njihove visine (nadmorske visine).

Ako se tako postavi elipsoid, može se odrediti ploha geoida s obzirom na elipsoid, upotrebom otklona vertikala. Kad se zna vrijednost otklona i njegov smjer te udaljenosti točaka s poznatim otklonima, mogu se odrediti nadvišenja, odnosno poniranja plohe geoida s obzirom na elipsoid. To je konvencionalni način određivanja geoida, koji ovisi o smještaju elipsoida, o orijentaciji astronomsko-geodetske mreže, pa je na manjim područjima nesiguran jer su astronomske točke rijetke. Zbog orijentacije astrageodetskih mreža dobiva se često na nekoj točki veliki otklon vertikale (u našoj mreži u jednoj točki



Sl. 2. Geoid U. A. Uotila (1962). Krivulje spajaju mjesta jednakih visinskih razlika između plohe geoida i elipsoida (u metrima)



Sl. 3. Karta relativnog geoida na teritoriji Jugoslavije (s obzirom na Baselov elipsoid). Krivulje spajaju mjesta jednakih visinskih razlika između plohe geoida i elipsoida (u metrima)

$\xi = 18,5''$, $\eta = 16,5''$). Takve se točke pokušavaju u tom slučaju izbaciti iz računanja. To mijenja orijentaciju, postavljanje plohe elipsoida, pa i sam geoid. Astronomske su točke redovito na vrhovima brda, gdje se i pojavljuju veći otkloni. One nisu uvijek reprezentativne za šire područje. Kad bi imali dovoljno gustu mrežu astronomskih točaka, promjene bi na otklonima nastupale postupno a preveliki otkloni na nekoj točki ne bi više utjecali na postavljanje elipsoida, a time i geoida. Kako su astronomske točke (točke na kojima su poznati otkloni vertikalna) daleko jedna od druge, a da bi se dobili otkloni vertikalna što gušće, može ih se u međutočkama udaljenima 8-10km odrediti mjerenjem sile teže, što je danas lako i brzo izvodljivo. Budući da su gravimetrijski otkloni apsolutni, a dobivaju se s obzirom na normalnu vrijednost sile teže, treba ih reducirati na poznate geodetsko-astronomske otklone. Tako se dobiva dovoljno gusta mreža otklona, što dopušta točnije određivanje geoida na osnovi plohe elipsoida. Određivanje visina geoida na temelju elipsoida naziva se i astronomskim nivelmanom jer se temelji na otklonima vertikalna koje su dobivene astronomskim mjerenjima.

Kako je geoid vrlo nepravilna površina zbog čestih i velikih promjena skretanja vertikalna, nastoji ga se nekako zagladiti. Zaglađivanje se osniva na podacima mjerenja, a prema vrsti podataka geoidi dobivaju nazive. Geoid dobiven pretežno pomoću gravimetrijskih i geodetskih mjerenja naziva se *gravi-*

metrijski geoid (sl. 2). Geoid određen na temelju astronomsko-geodetskih mjerenja naziva se *realnim geoidom* (sl. 3; A. N. Minagić, 1971). Takav geoid, kad obuhvaća samo dio površine Zemlje, može se nazvati i *relativnim geoidom*. Realni geoid teško je odrediti za cijelu Zemlju jer se astronomska mjerenja ne mogu provoditi na morima tako točno kako je potrebno u tu svrhu. S obzirom na različite načine određivanja utjecaja nadzemnih masa (v. *Gravimetrija*) za zaglađivanje geoida, postoje *kogeoidi* (s naznakom autora), *izostatski geoidi* (otkloni vertikalna određeni su prema poznatom reljefu, a korigirani za defekt masa u dubini), *geoid slobodnog zraka*.

Pravi otkloni vertikalna bit će redovito mnogo manji nego oni koji se dobiju ako se uzme u obzir samo topografski oblik nadmorskih masa, zbog djelovanja masa u dubini.

R. Bošković prvi je upozorio da ispod viših brda moraju postojati mase manje gustoće. To proučavanje, odnosno proučavanje, ide do neke dubine, do neke plohe izostazije od koje su gustoće masa izjednačene. Tu je teoriju dalje razradio F. Pratt sredinom prošlog stoljeća tvrdnjom da na jedinicu plohe izostazije pritišće jednaka masa bez obzira na visinu stupa mase. Što je stup zbog izdignutog brda viši, to će gustoća tog stupa biti manja. J. Hayford je, pri obrađivanju astronomsko-geodetske mreže u SAD 1909. godine, odredio da se ploha izostazije nalazi na dubini ~120km. Na temelju novijih ispitivanja smatra se da je dubina plohe izostazije ~50km, no te razlike u dubini,

iako velike, ne utječu mnogo. U već prije razrađenim formulama za određivanje utjecaja topografije uključen je utjecaj defekta mase — izostazije, te se tako dobivaju topoizostazijski otkloni. Kad se astronomski podaci reduciraju na topoizostazijske otklone, mogu se bolje izjednačiti astronomsko-geodetske mreže, pravilnije podesiti elipsoid, a rezultat izravnjanja dat će nove otklone vertikalna, svakako tada već mnogo manje, a nove se reducirane vrijednosti topoizostazijskih otklona mogu dalje iskoristiti za određivanje oblika geoida. Mreža astronomskih točaka može se progustiti dovoljno gustim gravimetrijskim točkama, pa će se gravimetrijski dobiveni otkloni interpolirati u elipsoidne. Tako se najbolje može orijentirati elipsoid i odrediti geoid.

Geoid je nivo-ploha, tj. ploha konstantnog potencijala u polju sile teže, pa se ta ploha može dobiti i gravimetrijskim mjerenjima. Već je G. Stokes 1849. g. postavio formulu za izračunavanje visina geoida nad elipsoidom a na temelju anomalija sile teže. Anomalije su razlike izmjerene sile teže i normalne njezine vrijednosti. Normalna vrijednost sile teže funkcija je geografske širine na nekom općem elipsoidu, koji općenito uzevši nije identičan s referentnim elipsoidom koji služi kao podloga za proračun. Takva gravimetrijska metoda određivanja geoida prikladna je za definiranje geoida za cijelu Zemlju, uz pretpostavku da je širom Zemlje, pa i na morima, dovoljno gusto izmjerena sila teže. Tako određene visine geoida mogu se nazvati apsolutnim.

N. Čubranić

GEOKEMIJA, znanost koja proučava raspodjelu kemijskih elemenata i izotopa u pojedinim geološkim sredinama, zakonitosti koje upravljaju tom raspodjelom i praćenje promjene zakona raspodjele u toku geološkog razvoja.

Geokemija je nikla iz tijesne veze s osnovnim prirodnim znanostima, s geološkim disciplinama kao što su petrografija, mineralogija, kristalografija i geologija, te kemijom i fizikom.

Mnogi problemi kemije Zemljine kore jednako su važni u geokemiji i u mineralogiji. To su problemi stvaranja minerala, (v. *Mineralogija*), sastava i podrijetla mineralnih otopina, izomorfizam, polimorfizam i energetska svojstva kristala (v. *Kristalografija*). U geologiji (v. *Geologija*), geokemija je našla svoje mjesto u određivanju starosti stijena radiološkim metodama, određivanju paleotemperature pomoću izotopa, što je od posebne važnosti za paleogeografsku rekonstrukciju. S fizikom i kemijom geokemija je vezana širokom primjenom fizičko-kemijskih metoda (v. *Geofizika*) a obilno se koristi i osnovnim zakonima fizike i kemije za objašnjenje raspodjele i migraciju elemenata u prirodi. Geofizika i geokemija vezane su u pitanju energetike različitih dubinskih zona naše planete.

Posebnu ulogu u geokemiji imaju živi organizmi. Ravnoteža između atmosfere, litosfere i hidrosfere te kružni ciklus mnogih elemenata u uskoj je direktnoj ili indirektnoj vezi sa živim organizmima.

Praktičnu primjenu geokemija je našla u razrađenim geokemijskim metodama mineralne prospekcije, naročito u otkrivanju rijetkih i rasijanih elemenata. U istraživanju rudišta primjenom izotopa rješava se pitanje geneze rudnih tijela. Konačno, zajedno s kozmokemijom i astrofizikom, geokemija pridonosi stjecanju i tumačenju novih spoznaja o sastavu svemira.

Povijest geokemije ima tri razdoblja. Prvo, pripremno razdoblje obuhvaća razvoj geokemije do 1900. U tom su razdoblju nađene osnovne relacije između kemizma i geoloških materijala. Mada su spoznaje vezane za proizvodnju metala ljudi stjecali već u najstarije doba u Babilonu, Indiji i Kini, bitno je bilo uvođenje pojma o kemijskom elementu kao osnovnoj jedinici materija (Robert Boyle, 1627—1691). Ipak, početak geokemije kao znanosti uzima se od C. F. Schönbeina (1799—1868), koji je uveo i zalagao se za upotrebu naziva *geokemija*. U toku XVIII stoljeća već ima radova posve geokemijske problematike. Takvi su radovi o srednjem sastavu Zemljine kore, dok je utjecaj živih organizama na okolicu shvatio već A. Humboldt (1769—1858). On se bavio i sastavom atmosfere i vode. Prve sabrane podatke o sastavu minerala i stijena daje K. G. Bischof (1792—1870).

U drugom, klasičnom razdoblju razvoja geokemije, od 1900. do 1950. godine, dolazi do intenzivnog istraživanja sastava zemaljske i izvanzemaljske tvari. Američki kemičar F. W. Clarke (1847—1931), osnivač klasične geokemije, daje mnoge temeljne podatke o sadržaju elemenata u Zemljinoj kori u svom radu »Data of Geochemistry« koji je doživio mnoga izdanja.

U Evropi u tom razdoblju djeluju također poznata imena kao što su V. M. Goldschmidt (1888—1947), mineralog i geokemičar, osnivač moderne analitičke geokemije, posebno u pogledu primjene termodinamskih i kristalokemijskih zakonitosti u rješavanju mineraloško-geokemijskih problema, P. Niggli (1888—1953), švicarski mineralog i začetnik moderne petrokemije i mineralne kemije, W. Noddack (1898—1966), njemački učenjak, koji je uveo velike novine u istraživanju elemenata u tragovima.

Drugo središte razvoja geokemije vezano je za velika imena ruskih znanstvenika. V. J. Vernadski (1863—1945) osnivač je ruske geokemijske škole i posebno je zaslužan za područje biogeokemije i geokemije izotopa. A. F. Fersman (1883—1945) dao je znatan prilog razvoju istraživanja na području energije rešetke, pegmatita i u geokemijskoj prospekciji. A. A. Saukov (1902—1964) bavio se historijskom geokemijom, prospekcijom i istraživao pravilnosti migracije elemenata.

U trećem, modernom razdoblju, od 1950. pojačavaju se naponi da se empirijski nađeni zakoni potvrde eksperimentalnim i dedukcijskim metodama.

Geokemija se obično svrstava prema geološkom objektu istraživanja i prema posebnim područjima istraživanja. Prema geološkom objektu istraživanja, ona se svrstava na litogeokemiju (geokemiju Zemljine kore), hidrogeokemiju (geokemiju površinskih i podzemnih voda), atmozeokemiju (geokemiju plinova i atmosfere), biogeokemiju (geokemiju žive i fosilne materije) i kozmokekiju (kemiju izvanzemaljskih materijala); prema posebnim područjima istraživanja, geokemija može biti geokemija izotopa, fizička geokemija, geokemija mikroelemenata, regionalna geokemija, geokemijska prospekcija i historijska geokemija. *Geokemija izotopa* bavi se primjenom izotopa u rješavanju geokemijskih problema kao što su određivanje starosti stijena stabilnim i nestabilnim izotopima. U *fizičkoj geokemiji* ispituje se primjena fizičko-geokemijskih zakona na tokove raspodjele elemenata i eksperimentalno se određuju uvjeti ravnoteže između mineralnih faza i otopina. *Geokemija mikroelemenata* rješava probleme podrijetla i postanka stijena i minerala primjenom elemenata u tragovima. *Regionalna geokemija* bavi se određivanjem geokemijskih karakteristika regionalnih geoloških jedinica kao što je određivanje tzv. klark-vrijednosti geokemijskih ili petrokemijskih i rudnih provincija. *Geokemijska prospekcija* primjenjuje se bilo samostalno, bilo u okviru opće rudarsko-geološke prospekcije za proučavanje i iskorištavanje zakona o migraciji i raspodjeli elemenata pri pronalaženju rudnih ležišta. *Historijska geokemija*, konačno, istražuje međuovisnost geokemijskih zakona i geološke povijesti Zemlje. U ovom je članku geokemija opisana uglavnom prema geološkom objektu istraživanja.

Litogeokemija. Fizička i kemijska nehomogenost građe Zemlje relativno je dobro poznata zahvaljujući seizmičkim podacima, mada se tumačenje o sastavu dubljih zona temelji samo na pretpostavkama. Strukturni model sastava Zemljine unutrašnjosti prvi je predložio Goldschmidt kao ishod istraživanja i usporedbe sa sastavom meteora (siderita i aerolita) i procesa taljenja u visokim pećima. Strukturno, Zemlja je lupinaste građe.

Tablica 1
NAJVAŽNIJI PODACI I NAZIVI GEOSFERA

Geosfera	Fizičko stanje	Glavni sastojci	Vjerojatna debljina km
Atmosfera	Plinovito	O ₂ , N ₂ plemeniti plinovi	100
Biosfera	Čvrsto, djelomično čvrsto	C, H, O, N, S, u organskim spojevima	1
Hidrosfera	Tekuće i čvrsto	Voda (slana, slatka, led, snijeg), soli	4
Litosfera Sial	Čvrsto	Gornji dio kisele silikatne stijene: Si, Al, Na, K. Donji dio bazične stijene: Si, Al, Ca, Mg, Fe	10—80
Ljuska Sima	Čvrsto	Bazične i ultrabazične stijene, a u donjem dijelu i sulfidi: Si, Mg, Fe, Ca, Al, S	2900
Jezgra ili barisfera Nife	Čvrsto i tekuće	Slitina Ni-Fe	3400