

Obdelava in vrednotenje geofizikalnih podatkov

Janez Lapajne

Uvod

Vrednotenje geofizikalnih raziskav je odvisno od obdelave večjega števila podatkov, npr. množice meritev raznolikih parametrov geoloških objektov, parametrov nekega polja itd. Tako se uporabna geofizika uvršča med tista področja znanosti in tehnike, ki so jih elektronski računalniki popeljali v zadnjih dveh letih, predvsem pa v zadnjem desetletju, k znatnemu napredku.

Uporaba računalnikov je omogočila dobivanje bistveno novih rezultatov. Predvsem se je znatno povečala hitrost računskih operacij, ki praktično niso bile izvedljive z običajnimi numeričnimi metodami. Povečana hitrost računskih operacij je privedla tudi h kakovostni spremembi rezultatov, ker je mogoče pri strojnem obravnavanju izveleči iz podatkov znatno večji obseg vsebovanih informacij. Poleg tega so tako dobljeni rezultati mnogo zanesljivejši in omogočajo objektivnejše vrednotenje.

Osnovna naloga uporabne geofizike je oblikovanje predstave oziroma slike raziskovalnih objektov v določenih geološko geofizikalnih razmerah na podlagi podatkov terenskih meritev.

Reševanje te naloge zajema v splošnem

- redukcijo merskih podatkov, tj. razne popravke;
- razdelitev polja (oz. transformacijo), tj. ločitev prispevkov raznih izvorov ali povzročiteljev in odstranitev »ozadja«;
- izračun fizikalnih in geometrijskih parametrov raziskovanega geološkega območja oziroma določenega objekta, ki nas zanima.

Vzporedno pa poteka podajanje reduciranih in transformiranih podatkov ter rezultatov v obliki kart, diagramov, krivulj, tabel in katalogov.

Zgornja shema velja v celoti za obdelavo in vrednotenje na področju gravimetrije, v magnetometriji se uporabljata le druga in tretja faza, pri ostalih metodah pa geofiziki zelo radi zanemarjajo redukcijo podatkov in razdelitev polja.*

* Članek zajema predvsem področja raziskav, s katerimi se ukvarja Oddelek za geofiziko na Geološkem zavodu v Ljubljani, to je gravimetrijo, magnetometrijo, geoelektriko, refrakcijsko seizmiko in termometrijo. Ne obravnava pa reflektivne seizmike.

V procesu razdelitve polja se uporabljajo raznoteri načini linearnega in nelinearnega filtriranja, med katerimi so široko uporabni postopki primerjalnega filtriranja, odvajanje in analitična podaljšava. Računanje parametrov raziskovanega objekta je v zvezi z rešitvijo obratne in direktne naloge, katerih jedro je modeliranje.

V vseh fazah obdelave in vrednotenja postaja računalnik nenadomestljiv pripomoček, ker po eni strani hitreje in ceneje računa, po drugi strani pa lahko geofizik hitreje preverja svoje ideje.

Redukcija podatkov

Redukcija podatkov je obdelana v gravimetriji, na drugih področjih geofizike pa se redko uporablja.

V zadnjih letih so se pojavili novi in hitrejši algoritmi za izračun topografskih popravkov. Razne organizacije v inozemstvu uporabljajo svoje interne računalniške postopke in programe za terenske korekcije. Nekateri od njih so dosegljivi tudi drugim uporabnikom. Za izračun popravkov odstaja že obsežna programska oprema (software).

Za korekcijo zemljepisne širine so na voljo nove tabele normalne težnosti z enominutnimi intervali. Korekcije temeljijo na reviziji mednarodne formule iz leta 1931 in uporabi geodetskih parametrov, ki jih je privzela Mednarodna zveza za geodezijo in geofiziko (International Union of Geodesy and Geophysics) leta 1967.

Razdelitev in transformacija polja

Splošno

Določeno polje predstavlja praviloma vsoto učinkov različnih teles. Nekatera telesa nas zanimajo (imenujmo takšno telo »raziskovano telo«), druga pa ne (takšno telo imenujemo »stransko telo« ali »motilno telo«). Komponento polja raziskovanega telesa (ali tudi več teles) navadno imenujemo »anomalija« ali »koristni signal«, komponento stranskih teles oziroma ostanek pa »stranska anomalija«, »motnja«, »ozadje« ali »šum«. Zahteve po razločevanju posameznih komponent postavlja pred nas nalogo razdelitve polja, tj. ločitve prispevkov posameznih teles ali območij. Preden poskušamo soditi o raziskovanem telesu, je treba dobiti njegovo polje v dovolj čisti obliki, zato je razdelitev polja eden najvažnejših postopkov v interpretacijskem procesu. Iz opazovanega polja je torej treba izluščiti polje (anomalijo) tega telesa. Nekateri imenujejo ta postopek regionalno-rezidualna analiza, pri čemer mislijo predvsem na težnostno polje, kjer se polje razdeljuje v največjem obsegu.

Nekaj let nazaj so regionalno-rezidualno razdelitev izvajali z uporabo numeričnih izglajevalnih postopkov, ki so bili več ali manj samovoljni. Ti so se v podrobnostih pogosto razlikovali od posameznika do posameznika ter med organizacijami, toda v bistvu so vsi obstajali v istovetenju »regionalnega« polja z neke vrste poprečjem. Z odštevanjem le-tega od celotnega polja je bil dobljen tako imenovani »rezidual«.

Samovoljni postopki razdelitve polja se umikajo objektivnejšim pristopom, med katerimi se uporabljajo:

- filtriranje
- odvajanje
- analitična podaljšava
- statistična metoda
- modeliranje.

Vse te postopke lahko smatramo kot filtriranje v širšem pomenu.

Rezultat razdelitve polja je pravzaprav spet slika določenega »očiščenega« polja, zato imenujemo ta proces tudi transformacijo polja.

Filtriranje

Zaenkrat se v širšem obsegu uporablja samo linearno filtriranje, ker je nelinearno filtriranje še v precejšnji meri v razvoju in uporabne literature še ni na voljo.

Nelinearno filtriranje dela v prostorski domeni za razliko od linearnega filtriranja, ki dela v valovni domeni. Zato imenujejo nekateri linearno filtriranje tudi valovno ali frekvenčno filtriranje.

V procesu linearnega filtriranja si je treba izmisliti linearni filter, ki je kolikor mogoče blizu optimalnemu, za ločitev enega sistema anomalij od drugega, za odstranitev enega ali drugega sistema izvirov ali pa za odstranitev »šuma«. Pri iskanju optimalnega filtra je koristen pripomoček metoda najmanjših kvadratov.

Velikokrat gre pri linearnem filtriranju za razdelitev spektra na komponenti, od katerih ima ena izvore blizu površja, druga pa v večjih globinah. Prvim ustrezajo majhne valovne dolžine, drugim pa velike. Slednji nizkoamplitudni del je često zakrit z močnejšimi pripovršinskimi učinki. Z digitalnim ojačevanjem signalov je pozornost osredotočena na spektralno analizo in uporabo Fourierjevih vrst. S pomočjo hitrih Fourierjevih algoritmov je omogočeno enostavno izvajanje linearnih procesov kot npr. odvajanje, analitična podaljšava ipd.

Odvajanje

Prvi in drugi odvod sta pogosti transformaciji predvsem gravitacijskega polja.

Francoski geofiziki dajejo prednost prvemu odvodu. S pomočjo kart vertikalnih odvodov ugotavljajo horizontalne konture teoretičnih (modelnih) teles, ki povzročajo anomalije, podobne opazovanim.

Ostali raziskovalci raje uporabljajo druge odvode. Dvakratno odvajanje so prvotno predlagali kot različico in kot bolj stvaren nadomestek regionalno-rezidualne analize, ki so jo svojčas izvajali s samovoljnimi postopki izglajevanja in računanja poprečij.

Upravičena je bila predpostavka, da bi morali biti drugi odvodi bolj občutljivi za šibke izvore, povzročene s plitvimi izvori, kot katerikoli rezidual, dobljen z regionalnim izglajevalnim postopkom.

S prihodom hitrega Fourierjevega transformacijskega algoritma je postalo bolj ekonomično izvajanje mnogih linearnih operacij (npr. odvajanja in analitične podaljšave) na računalniku. Obenem omogočajo raču-

nalniki tudi natančen izračun odvodov. Zato so postale karte prvih in drugih odvodov gravitacijskega polja pogost pripomoček pri kvantitativnem vrednotenju.

Analitična podaljšava

Analitična podaljšava je splošna metoda, ki načelno rešuje problem razdelitve polja nedovisno od določene sestave anomalije in ozadja. Razlikujemo podaljšavo navzdol in podaljšavo navzgor; s prvo se v matematičnem postopku približujemo raziskovanemu telesu, z drugo pa oddaljujemo.

Pri »približevanju« k raziskovanemu telesu pride do okrepitve anomalije in oslabitve ozadja. Analitično podaljšavo navzdol je možno izvesti v smeri, ki ne seče izvorov polja. Če skušamo rešiti ta problem v splošni obliki, naletimo na principialne težave, ker je dana naloga nekorektna v klasičnem smislu. To pomeni, da lahko poljubno majhnim napakam podatkov ustrezajo poljubno veliki pogreški v rešitvi. V posameznih posebnih primerih se naloga analitične podaljšave uspešno rešuje z metodo izravnave. Glede na praktične zahteve to navadno popolnoma zadostuje, ker obsegajo te posebne rešitve širok krog možnih uporabnih nalog.

Analitična podaljšava navzdol pa ni zanimiva samo kot filtracijska metoda. »Približanje« k raziskovanemu telesu omogoča detaljnější »ogled« telesa. Tako npr. anomalijo, ki se kaže na površju kot celota, v resnici pa je vsota anomalij dveh teles, z analitično podaljšavo navzdol razdelimo na obe komponenti. Analitično podaljšavo lahko uspešno uporabimo v procesu modeliranja ali reševanja obratne in direktne naloge za določitev parametrov raziskovanega telesa.

Za razpoznavanje anomalij globljih struktur lahko v mnogih primerih uporabimo analitično podaljšavo navzgor, torej v zgornji polprostor, kjer ni motilnih teles. V tem postopku oslabimo učinke površinskih in plitvih struktur.

Statistična metoda

Razpoznavanje šibkih geofizikalnih anomalij iz ozadja in motenj različnega izvora je problem, ki ga je mogoče učinkovito reševati tudi s statističnimi metodami. V statistični teoriji je kriterij optimalnosti bolj utemeljen kot pri običajnih filtracijskih metodah, poleg tega omogoča statistična metoda optimalno pridobivanje koristnih informacij.

Izračun parametrov

Obratna naloga

Jedro oblikovanja slike raziskovane strukture je rešitev tako imenovane obratne naloge (problema), tj. račun fizikalnih in geometrijskih parametrov geološke formacije, ki smo jo izmerili. Ta problem v splošnem ni rešljiv zaradi dveh osnovnih vzrokov. Prvi je raznolikost rešitve obratne naloge, kar pomeni, da ustreza določeni množici vrednosti merjene količine več možnih različnih geoloških konfiguracij, drugi vzrok pa je ne-

korektnost obratne naloge v klasičnem smislu. Ti zapreki uspešno rešimo samo z dodatnimi informacijami, ki niso vsebovane v merjeni količini. Te informacije dobimo iz geoloških in vrtalnih raziskovalnih del, deloma pa z ugotavljanjem drugih geofizikalnih parametrov, ki so neodvisni od že uporabljenih.

Navadno se postavljena naloga rešuje posredno z reševanjem direktnega problema (naloge), tj. izračuna polja vrednosti določene fizikalne količine za izbran geološki model. V procesu razpoznavanja raziskovanega objekta je reševanje direktne in obratne naloge tesno povezano. Glede na opazovano polje se na določen način napravi model raziskovanega terena — na ta način se v prvem približku rešuje obratna naloga. Nato se izračuna polje oziroma anomalija tega modela — rešuje se direktna naloga. Izračunano anomalijo primerjamo z mersko (tisto, ki je »očiščena« v postopku razdelitve polja) in ocenimo ustrezne popravke za model. Popravljeni model je drugi približek. Zanj spet izračunamo anomalijo itd. Tako se postopoma približujemo zadovoljivi rešitvi.

Kot smo že omenili, moramo za reševanje obratne naloge poznati geološko-geofizikalne karakteristike raziskovanega telesa in njegove okolice. S tem omejimo število možnih različic modela. Kakšne naj bi bile dopolnilne geološke in geofizikalne informacije, da bi mogli nalogo uspešno rešiti, ni mogoče predpisati za splošen primer.

Pogosta naloga, ki jo geologija postavlja uporabni geofiziki, je ocena zalog koristnih rudnin. To je pravzaprav obratna naloga, pri kateri je treba poiskati geometrijske parametre in geološke karakteristike raziskovanega telesa. Zelo zapleteno reševanje splošne naloge o razporeditvi koristne komponente v okolju in določevanje oblik ustreznih teles zamenjamo z reševanjem poenostavljene naloge, v okviru katere ocenimo samo celotno količino koristne rudnine. Privzamemo, da je znan končni volumen, v mejah katerega se nahaja ocenjevano telo; na ta način preneha biti naloga nekorektna v klasičnem smislu.

Direktna naloga

Reševanje direktne naloge je najbolj obdelan postopek v procesu vrednotenja geofizikalnih podatkov. Praktično obstajajo za vsa področja uporabne geofizike bolj ali manj uspešni algoritmi za računanje anomalij dvodimenzionalnih in trodimenzionalnih teles. V računalniškem postopku je integriranje zamenjano s seštevanjem končno velikih prispevkov. Načelno natančnost računa ni noben problem, odvisna je le od tega, kako fino razdelitev vzamemo. Večje težave nastopijo pri računanju anomalij polariziranih teles poljubne oblike; polarizacija namreč ni odvisna samo od primarnega polja, temveč tudi od sekundarnega polja, tj. polja, ki nastane pri polarizaciji. Za razreševanje takih problemov mora algoritem upoštevati tudi vpliv sekundarnega polja na oblikovanje anomalije.

Zelo uporabni pripomočki pri vrednotenju so vnaprej izračunane anomalije v tabelarni in zlasti grafični obliki za več različnih modelov. Znane so modelne krivulje geoelektričnega in magnetoteluričnega sondiranja. Izračun modelnih krivulj večplastnega sistema ob pomoči računalnika

danes ne predstavlja več nobenega problema. Kljub temu so na voljo bogati katalogi le za triplastne krivulje geoelektričnega sondiranja, katerim se kvečjemu dodajo le še določene štiriplastne družine krivulj. Katalogizacija večplastnih modelnih krivulj namreč ni več racionalna in si jih zato raziskovalne organizacije raje sproti izračunavajo in jih tudi sproti katalogizirajo za interno uporabo.

Računalniki so omogočili praktično uporabo variacijskega računa za reševanje direktne naloge z algoritmom končnih elementov.

Risanje kart

V zadnjih letih je bilo napravljeno veliko število računalniških programov za risanje izolinij neenakomerno porazdeljenih podatkov. Programi so tako številni in raznoliki, da jih je nemogoče primerjati.

Skoraj vsi programi za avtomatično risanje izolinij, ki so v uporabi, imajo naslednjo skupno značilnost. Najprej z interpolacijo izračunamo vrednosti polja v presečiščih pravilne dvodimenzionalne mreže, nato pa rišemo konture glede na te vrednosti. V postopku interpolacije so večje razlike med posameznimi programi, algoritmi za risanje izolinij glede na mrežne vrednosti pa, kot kaže, sledijo vsi podobni logiki.

Redki so interpolacijski postopki, ki dajejo tudi tehniko za redukcijo opazovanj, dobljenih na različnih nivojih, na skupen nivo. Povečini so to numerične interpolacijske sheme.

V postopku interpolacije se uporabljajo za prilagajanje polinomi, lokalna tehtana poprečja ali diferencialne enačbe. Prilagajanje se izvaja z metodo najmanjših kvadratov. Prilagajanje s polinomi je praktično samo ob uporabi funkcij nizkih redov. Pri tem se celotno območje razdeli na podobmočja, prek katerih se izvaja prilagajanje, podobmočja pa se med seboj prekrivajo. Čim manjša so ta podobmočja in čim večje je prekrivanje, boljši so v splošnem rezultati in višji so računalniški stroški. Tehtana poprečja nudijo hitro in relativno poceni interpolacijsko metodo in dajejo dobre rezultate, če ni polje preveč razgibano. Nasprotno je zadnja metoda še zelo draga, daje pa odlične karte. V bistvu sestoji ta metoda v reševanju diferencialne enačbe potencialnega polja kot funkcije x in y s tehniko končnih razlik. Posebno primerna je za velike računalnike.

V nasprotju z mrežnimi interpolacijskimi metodami je algoritem za avtomatično risanje izolinij dokaj enostaven v svoji zamisli. Programska logika pa postane precej zapletena, če zahtevamo visoko natančnost in izglajenost.

Na kratko lahko povzamemo, da je na voljo vrsta programov za risanje kart. Tisti, ki dajejo boljše rezultate, so praviloma tudi dražji. Preden se odločimo za določen program, se moramo seznaniti z razpoložljivo programsko opremo (software) in izbrati takšen program, ki daje zahtevano natančnost po najnižji ceni.

V zadnjem času kaže, da so izdelali algoritme za neposredno avtomatično okonturiranje neenakomerno razporejenih podatkov, katerih ekonomičnost je v zadovoljivih mejah.

Proces obdelave in vrednotenja

V prejšnjih poglavjih smo na kratko opisali razne faze obdelave in vrednotenja geofizikalnih podatkov, v tej točki pa bomo orisali nekaj računalniško osnovanih interpretacijskih tehnik.

Bistvo obravnavanja na računalniku je računalniško modeliranje. Med postopkom se oblikuje cela vrsta modelov, s katero se na ta ali drug način približujemo resničnemu stanju. Iteracijski postopek temelji na primerjavi anomalij omenjene vrste modelov z mersko anomalijo. Ko je doseženo zadovoljivo sovpadanje, za kar se npr. poda določene kriterije, se postopek ustavi. Prilagajanje anomalij, da bi dosegli optimalno skladnost z merskimi podatki, v postopku razdelitve polja imenujejo primerjalno filtriranje.

Za računanje modelnih anomalij se navadno kompleksna struktura razdeli na enostavne domene, prek katerih potem seštevamo. Velikost in število teh domen sta odvisna od geoloških in geofizikalnih razmer.

Največ upanja za uspešno vrednotenje daje dandanes tako imenovano interakcijsko programiranje. To je tehnika, ki dovoljuje interpretatorju, da vpliva med postopkom na potek obdelave, kar omogočajo predvsem grafične televizijske naprave. Ob njihovi uporabi človek neposredno sodeluje s strojem, kontrolira in deloma usmerja obdelavo, kar je neprecenljive vrednosti ravno pri modelni simulaciji. Televizijski zaslon lahko uporabimo kot površino za pisanje in risanje, torej kot neposredno vhodno enoto.

V procesu vrednotenja je zaradi nekorektnosti in raznolikosti geofizikalnih problemov zelo važno upoštevanje dodatnih oziroma dopolnilnih informacij o raziskovanem geološkem objektu. Dobimo jih iz geoloških in vrstnih raziskovalnih del, delno pa z geofizikalnimi raziskavami, ki dajejo parametre, neodvisne od že uporabljenih. Učinkovito upoštevanje teh informacij obetajo ravno interakcijsko vrednotenje in digitalno-grafične televizijske naprave.

Za bolj omejene smotre vrednotenja, kjer je namen npr. oceniti prostornino ali globino telesa dobro izražene anomalije, se danes veliko uporablja algoritem najmanjših kvadratov. V osnovi je to tehnika za optimizacijo približnih rešitev. Ta algoritem omogoča hitro in učinkovito prilagajanje parametrov geometrijskih modelov, da dosežemo optimalno skladnost učinkov modela in učinkov naravnega sistema. Uporabiti ga je mogoče praktično na vseh področjih. Slaba stran algoritma najmanjših kvadratov je, da je za dobre rezultate potrebno dobro poznavanje oziroma ocena osnovnega nivoja anomalije, kar je v praksi običajno težko izvedljivo.

Količina zahtevno vrednotenje je zaenkrat izvedljivo le v dveh dimenzijah, vlagajo pa se že napor za prehod na tri dimenzije.

Merilo kvalitete določene interpretacijske tehnike je obseg koristnih informacij, ki jih moremo izluščiti iz podatkov. Zato je proces obdelave in vrednotenja neločljivo povezan z metodiko terenskih meritev. Raziskovalna metoda mora omogočati maksimalno natančnost glede optimalnega pridobivanja informacij in v ekonomskem pogledu.

Celotna raziskovalna naloga, ki jo rešujemo ob pomoči elektronskih računalnikov, vsebuje:

- obdelavo metodike terenskih meritev,
- izvedbo terenskih meritev,
- prevedbo terenskih podatkov na obliko, ki je primerna za obdelavo na računalniku,
- izbiro primernih algoritmov in programov,
- avtomatično obravnavanje z ustreznim podajanjem rezultatov.

Interpretacijski proces se mora začeti že pri obdelavi metodike, če hočemo dobiti optimalno rešitev glede na kvaliteto rezultatov in ekonomiko raziskav.

Povzetek

V članku smo v grobem orisali uporabo elektronskih računalnikov na področju uporabne geofizike ter obravnavali tehniko vrednotenja ali algoritme, primerne izključno za računalniške postopke.

V državah, ki imajo že dolgoletno tradicijo v izvajanju geofizikalnih raziskav, so postali ali pa postajajo računalniki vsakdanji pripomoček pri obdelavi in vrednotenju podatkov. Nekateri postopki so praktično popolnoma avtomatizirani. Tako obstaja na področju redukcije gravimetričnih podatkov obsežna programska oprema.

Risanje kart potencialnih polj poteka vedno v večjem obsegu avtomatizirano. Modelne krivulje (npr. za geoelektrično sondiranje) pa se izračunavajo izključno na računalnikih.

Računalnik nudi možnost izvajanja aritmetičnih operacij z velikansko hitrostjo, manjka pa mu sposobnost razsojanja, kadar ima več različic enako matematično veljavnost. Kaže, da bodo ta problem v bližnji prihodnosti reševali s pomočjo grafičnih televizijskih naprav ob uvajanju dodatnih informacij o raziskovanem geološkem objektu.

Računalniško modeliranje postaja eden najuporabnejših postopkov v procesu vrednotenja. Žal ni mogoče predpisati splošno veljavnega algoritma za reševanje določene osnovne naloge, ker je večina geofizikalnih nalog nekorektno postavljenih. Tako je lahko algoritem, ki dobro dela v določenih geološko geofizikalnih pogojih, neprimeren za druge pogoje in obratno. Učinkovitost tega ali onega algoritma se kaže v tem, kako se konkretne geološke geofizikalne razmere odražajo v izbrani matematični shemi ali modelu. Uspešna rešitev praktične naloge z določenim algoritmom je najboljši način za potrditev njegove uporabnosti.

V raznoterosti pristopov in raznolikosti dandanašnjih tokov je težko slediti glavni razvojni tok. Slutiti je mogoče, da je med problemi, ki so predmet dandanašnjega proučevanja, pomembna obdelava velikih sistemov, izdelava algoritmov za reševanje nekorektnih nalog in izdelava algoritmov za reševanje nalog nelinearnega programiranja. Kaže, da imajo metode matematičnega programiranja izredno važen pomen pri reševanju večine geofizikalnih problemov. Narašča tudi zanimanje za statistične metode. Za različne analitične namene je koristno numerično in statistično obravnavanje velikega števila diskretnih vrednosti merjene funkcije, ki je poznano pod imenom »analiza trondov«. Vsi ti interpretacijski postopki

in ustrezni algoritmi so neločljivo povezani z elektronskimi računalniki, brez katerih si dandanes ne moremo več predstavljati razvijanja geofizikalnih metod in aparatur.

Prehod z ročne na strojno obdelavo ni enostaven. Starejše pristope k vrednotenju je treba pogosto opustiti ali pa modificirati. Izdelati je treba nove algoritme in ustrezne programe za računalnik.

Prehod zahteva določene spremembe v načinu mišljenja in dela, kar ima lahko za posledico delno poklicno preorientacijo, spremembo kadrovske strukture in predstavlja na začetku za organizacijo, ki osvaja nov način dela, finančno breme. Če se prednosti, ki jih nudi računalniška tehnika, dobro izkoristijo, pa se v kratkem času naložba obrestuje.

Data Processing and Interpretation in Geophysical Exploration

Janez Lapajne

Abstract

The evaluation of data obtained by geophysical exploration is composed of a series of subjective and objective processes; the later are nowadays gaining in importance. Fast electronic computers have made possible the use of mathematical procedures in a wider extent. In data reduction, field distribution and transformation, calculation of geological and geophysical parameters, representation of results as well as in the whole processing and evaluation of the measured data, the contribution of the computer processed portion increases constantly. For such processing many older evaluation methods must be either modified or rejected. New mathematical algorithms, suitable for treatment by computers, are necessary. Computerization has also introduced new mathematical and statistical evaluation methods into geophysical interpretation techniques.

Literatura

Bas R. G., Gucaljuk V. M., Djadjura V. A., Nikolenko V. N., Starostenko V. I. 1970, Sostojanie, perspektivy i ispolzovaniya avtomatizirovannykh sistem obrabotki i interpretatsii geofizicheskikh dannykh. Geofizicheskij sbornik, št. 38, str. 87—91.

Bulah E. G., Kolosov A. L. 1970, K voprosu ob avtomatizirovannykh sistemah interpretatsii geofizicheskikh nabljudenij. Geofizicheskij sbornik, št. 38, str. 64—68.

Crain I. K. 1970, Computer interpolation and contouring of two-dimensional data: a review. Geoexploration, v. 8 (2), str. 71—86.

Grant F. S. 1972, Review of data processing and interpretation methods in gravity and magnetism, 1964—71. Geophysics, v. 37 (4), str. 647—661.

Müller J. 1969, Anwendung von Rechenautomaten zur Auswertung geophysikalischer Daten: Geophysik und Geologie, F. 14, str. 39—41.

Nikitin A. A., Tarhov A. G., 1970, Statisticheskie priemy izvlecheniya informatsii pri obrabotke geofizicheskikh dannykh. Geofizicheskij sbornik, št. 35, str. 78—90.

Polonsky A. M. 1971, Algoritmy reshenij nekotorykh zadach geofiziki. AN A SSR, Erevan.