

A mérnöki geomorfológia problematikája

DR. PÉCSI MÁRTON

akad. lev. tag.

A geomorfológia és a mérnökgeológia közötti kapcsolat

A geomorfológia kapcsolatai

A Föld szárazulati domborzata a hordozója az ember társadalmi-gazdasági tevékenysége túlnyomó részének. A földrajzi környezetben és elsősorban magán a domborzaton korunk fejlett gazdasági-műszaki tevékenysége egyre hatalmasabban méretű változásokat okoz. A beavatkozás módja és következménye ugyancsak egyre több oldalú és bonyolultabb tudományos és gyakorlati kérdés megoldását igényli.

A domborzat anyagi felépítését, formáit és az ezeket kialakító dinamikus folyamatokat eleinte a geológia tanulmányozta és magyarázta. A geológia széles kutatási körében már a tudományfejlődés korai stádiumában megkezdődött a specializálódás, egyes tudományágazatok önállósulása (kristály- és ásványtan, kőzettan, történeti földtan, bányászati földtan, mérnökgeológia és újabban a geokémia és geofizika).

A geomorfológia (felszínalaktan) a domborzati formák külön tanulmányozására, kialakulásuk magyarázatára a múlt század második felében, szintén még a geológia kebelében fejlődött ki. E tudományág ez időben főként a földkéreg szerkezeti mozgásai által kialakult domborzati formákat értelmezte (strukturális geomorfológia). Csak a múlt század végén vált közismertté LOMONOSZOV korai megsejtése, hogy a domborzat formáit a Föld belső (endogén) és külső (exogén) folyamatai egymással kölcsönhatásban hozzák létre.¹ Ettől kezdve a fizikai földrajz is egyre nagyobb érdeklődéssel fordult a domborzati formák kialakulásának tanulmányozása és magyarázata felé. Ennek az irányzatnak a megerősödésével a geomorfológia fokozatosan önállósult a geológiától, de attól mint anyatudományától és a fizikai földrajztól máig sem szakadt el teljesen. Tárgykörével, feladatával a két tudomány között szoros kapcsolatot hozott létre.

A geomorfológia ilyen irányú és önálló fejlődése csak azután következhetett be, miután a domborzatot formáló exogén folyamatok (levegő-, víz- és jégmozgás) mechanizmusáról, hatásfokáról megfelelő adatok és számítások már rendelkezésre álltak. HUMBOLDT és DOKUCSAJEV nyomán gyors fejlődésnek indult az éghajlatban, ill. talajban. A felszíni víz- és folyószabályozások során a potamológia, hidrológia, hidrodinamika, továbbá a hidrogeológia (a felszín alatti vizek); az oceanológia, limnológia (a tengerek és tavak); a glaciológia és kriológia (a jég és fagy mozgásfolyamatainak tanulmányozása) is lendületesen fejlődött.

E tudományok, amelyek a geológiából, geográfiából és az általános mérnöki tudományokból fejlődtek ki és azok határterületén működnek, az egyes felszínalakító exogén folyamatok számos törvényszerűségét tárták fel. Az exogén folyamatok működésükkel a domborzatot formálják, de mozgásukat, érvényesülésüket a domborzat maga is be-

¹F. RICHTHOFEN munkássága révén igazolódott a felszíni formák egyértelmű komplexitása.

folyásolja, esetleg irányítja. Éppen ezért az éghajlat, a talaj, a vizek, a jég, sőt a bioszféra elterjedésével és mozgásfolyamataival foglalkozó tudományok is részletvizsgálataik során — a feltárt résztörvényszerűségeikkel — jelentősen hatottak a geomorfológiára. Egyrészt analitikus vizsgálati adataikkal elősegítették a felszíni formák komplex genetikus magyarázatát, másrészt maguk is egyre több szempontból felhasználták a geomorfológia eredményeit, szintetizáló tanait.

A geomorfológia fejlődésére és ismeretanyagának a mérnöki gyakorlatban való alkalmazására nagyon ösztönzően hatott az Európa-szerte, majd világszerte megindult hegyméréstan és topográfiai térképezés, továbbá az árvíz- és folyószabályozásokkal, újabban pedig a talajvédelemmel és a nagyarányú építkezésekkel kapcsolatos műszaki tervezés, helykiválasztás és kivitelezés.

A mérnökgeológia kapcsolatai

A műszaki létesítmények helyes és biztonságos helykiválasztására és a már gazdaságilag hasznosított területek geológiai, geomorfológiai tényezőinek, folyamatainak az értékelésére, tanulmányozására alakult ki az ún. *műszaki földtan (vagy mérnökgeológia)*. Kifejlődése ugyancsak a geológia keretében indult el a múlt század végén a nagy vasútépítkezési és bányalétesítési időszakban, amikor csaknem minden nevesebb geológus egyben az építkezések műszaki tanácsadójaként is működött. Tapasztalataikat általánosítva mérnöki szempontú geológiai tanulmányokkal a műszaki földtan alapját vetették meg. Azóta a mérnökgeológia önálló tudománnyá fejlődött, bár tárgya — főképpen a nyugati irodalomban — meglehetősen heterogén és témaköre is gyakran országoként változó.² Éppen ezért egyes szerzők (SZILVÁGYI I. 1965) a műszaki földtanon belül indokoltnak látják az *építésföldtan* előtérbe helyezését, amelynek fő feladata a mérnöki létesítmények telepítésére legalkalmasabb helyek kijelölése.

A szovjet szakirodalom a mérnökgeológia tárgykörét egész konkrétan megfogalmazta (I. V. POPOV 1961; N. P. PANJUKOV 1962). Legújabbban V. D. LOMTADZE (1970) meghatározása szerint a mérnökgeológia: „Az a tudomány, amely a különböző létesítmények felépítésével és a gazdaságilag hasznosított területek geológiai feltételeinek tanulmányozásával foglalkozik, kiválasztja a létesítmények tartós és normális üzemeltetését biztosító eljárásokat, valamint előre jelzi a létesítmények hatására bekövetkező geológiai változásokat”. A mérnökgeológia tárgykörébe foglalja 1. a mérnöki köztantant (petrológia), 2. a mérnöki geodinamikát, 3. a speciális mérnökgeológiát és 4. a regionális mérnökgeológiát.

A tárgykörből és a fenti meghatározás lényegéből következik, hogy a mérnökgeológia a műszaki létesítmények természeti környezetével és az ott végbemenő domborzatformáló folyamatokkal való vizsgálódás során a geomorfológiával szoros kapcsolatban áll.

A tapasztalat azt bizonyította, hogy a létesítmények mérnöki tervezéséhez nem elegendő csupán azok helyes talajmechanikai megalapozása, pusztán az építmény szűkebb környezete geológiai tényezőinek értékelése, prognózisa, hanem sok esetben szükséges a természeti környezet és a létesítmény között meglévő vagy várható kölcsönhatás felmérése. A létesítmény természeti környezete viszont nem azonos a geológiai adottságokkal, illetve feltételekkel, annál szélesebb körű és sokoldalúbb. Ahhoz még hozzá kell sorolni az éghajlati

² Kőbányászat, talajmechanika, hidrotechnika geológiával valamilyen kapcsolatban álló problémaköre.

(csapadék, hőmérséklet, szél, kitettség stb.), hidrológiai—vízháztartási, talaj- és növényzeti, domborzati adottságokat és ezeknek egymáshoz is kapcsolódó dinamikus folyamatait. Az ilyen összefüggések tanulmányozása a geomorfológia feladata (részletesebben lásd később).

A természeti környezet egészének figyelmen kívül hagyása vagy a földtani, felszínalaktani adottságok szűk körű kiértékelése esetén előfordul, hogy a műtárgyat vagy környezetét természeti katasztrófa, ill. jelentős károsodás éri, bár maga a létesítmény műszakilag biztonságosan épült meg. Ilyen esetekről a példák egész sora ismeretes.

A műszaki létesítmények biztonságának fokozása érdekében egyre inkább teret nyer a mérnökgeológiában, ill. a szűkebben vett építésföldtanban is a természetföldrajzi helyzet és a geomorfológiai adottságok és folyamatok kiértékelése. Ezzel a geomorfológia, ill. kutatási eredményei közvetve vagy közvetlenül a mérnökgeológiai tervezés szerves részévé váltak.

A hagyományos geomorfológia tárgya, tagolódása és módszerei

A geomorfológia kutatási tárgya a Föld domborzata és formái, feladata ezek kifejlődésének, a jelenkori formák kialakulásának magyarázata. Önálló kutatáskörű tudomány, de szoros kapcsolat fűzi az általános földtanhoz és fizikai földrajzhoz. Feladatának megoldásához sajátos geomorfológiai módszerein kívül felhasználja az előbb említett tudományok kutatási módszereit is.

A geomorfológia a kutatás tárgyát két egymástól eltérő nézőpontból vizsgálja.

1. *Az általános geomorfológia* — nevezik dinamikus vagy elemző geomorfológiának is — a domborzati formákat és az azokat alakító folyamatokat önmagukban vizsgálja, azokról tipikus és általános törvényszerűségeket állapít meg.

2. *A regionális geomorfológia* pedig a helyi, területi formák kialakulásával, adottságaik jellemzésével és a közöttük levő különbségek, ill. összefüggések feltárásával foglalkozik. Az ismételten felmerülő és megválaszolendő kérdés: „mi történt?” A két vizsgálattípust azonban nem szabad élesen elkülöníteni, a kutatás során csak részarányukban különböznek egymástól. Az eredményes feladatmegoldás rendszerint megköveteli a két vizsgálattípus megfelelő arányú igénybevételét.

Az általános geomorfológia a tárgykörét vizsgáló eljárási mód szerint tovább tagolódik: geomorfológiai analízisre és szintézisre.

A *geomorfológiai analízis* a domborzat fejlődésének törvényszerűségeit a felszínformáló erők tevékenységének elemző vizsgálatával állapítja meg. Ez más szóval a belső és külső erők domborzatalakító folyamatainak tana, röviden endogén és exogén dinamikának is nevezik.³

A *geomorfológiai szintézis* mint az általános geomorfológia része, a belső és külső erők együttes működésének hatására kialakult — strukturális és szkulpturális — domborzatot fejlődésében szintetikusán magyarázza. Ennek

³ E folyamatokkal más szempontból az általános vagy dinamikus geológia, a fizikai földrajz, egyes folyamatokkal pedig több geotudomány is foglalkozik, mint pl. a *geotektonika* — a szilárd kéreg mozgásával; a *vulkanológia* — a vulkáni működéssel és magmatizmussal; a *szeizmológia* — a földrengésekkel. A külső erők folyamataival a már említett *klimatológia*, *meteorológia*, *hidrológia*, *hidrodinamika*, *potamológia*, *oceanológia*, *glaciológia* stb.; az endogén dinamikát a *geológia*, az exogén dinamikát pedig a földrajzi környezettel való összefüggésben a *geomorfológia* műveli.

alján kijelöli és osztályozza a genetikailag megegyező formátípusokat. Ez utóbbi részt külön „genetoföldrajzi rendszeren”-nek is nevezik.

A mai általános és regionális genetoföldrajz a formaalakulás főbb tényezőinek vizsgálata szempontjából is külön részfejezetekre — irányzatokra — tagolódik.

1. A szerkezeti (strukturális) genetoföldrajz a szilárd kérget alkotó, már kialakult nagy geomorfológiai szerkezetek — masszívumok, hegység- és medencetípusok stb. — adottságait és különbözőségeit (epirovariancia) vizsgálja a domlorzatalakulás szempontjából. A különböző szerkezetű, felépítésű és mozgásirányú kéregrészek ugyanis alapvetően meghatározzák a felszínfejlődés irányát. Hatással vannak a külső erők mennyiségi és minőségi tevékenységére.

2. A morfológia a felszín speciális formálódását eredményező kőzetek (mész, lösz, agyag, gránit stb.) lepusztulásfolyamataival és a kőzetek különböző fizikai-kémiai tulajdonságaiból (petrovariancia) származó speciális domborzatalakulással foglalkozik.

E különbségek miatt az egyélként azonos természeti környezetben az exogén folyamatok eltérő formákat alakítanak ki.

3. Az utóbbi évtizedekben az exogén erőktől gyűjtött megfigyelések tanúsága szerint a domborzati formátípusok és azok alakulásának módja és üteme az éghajlat övezetessége szerint is meghatározott különbségeket mutat. Hasonló kéregszerkezeteken, masszívumokon és hegységeken, ill. azonos minőségű kőzeteken a felszíni formák, a zonális éghajlati-ökológiai viszonyoktól is függően, különböző típusokat alkotnak. Ez a felismerés a klimatikus geomorfológia gyors kifejlődését eredményezte. Elemző módon vizsgálja a felszínformáló folyamatok dinamikáját éghajlati zónánként, ugyanakkor azonban a formák fejlődését a természeti környezet — a szubsztrátum, ökológiai szféra, valamint dinamikai folyamatok — eredőjeként szintetikusán magyarázza.

Az éghajlati hatások és különbségek vizsgálata az exogén folyamatok működésében és a formák alakulásában igen fontos és eredményes irányzat, azonban nem lenne helyes, ha az egész geomorfológiát klimatikus irányzatával azonosítanánk.

A tapasztalatok szerint eltérők a formák és más a formaalakulás módja és intenzitása az állandó fagy — a nedves, mérsékelt — a félig száraz sztyepek — a különböző sivatagok — a szubhumidus és a nedves trópusok övezetében.

A geomorfológia kutatási módszerei a tudomány fejlődésének és a vele szemben támasztott elvi és gyakorlati igényeknek megfelelően alakultak, bővültek. A vizsgálat alapmódszere a helyszíni terepmegfigyelés, amelyhez a formák, lejtők és az azokat alakító folyamatok minőségi értékelése, újabban egyre inkább mennyiségi mérése kapcsolódik.

A domborzati formák kialakulásának módját, ütemét a jelenleg működő külső és belső erőknek a formákon megfigyelhető nyomaitól állapítja meg a földrajzi összehasonlítások alapján. A nem megfigyelhető vagy korábban működött folyamatokra pedig a formák alakjából és a lepusztulás során felhalmozott, ún. korrelatív üledékekből von le következtetéseket. Ennek érdekében mind több és szélesebb körű laboratóriumi anyagvizsgálatokat végez.

Alkalmazza a paleogeomorfológia módszerét, amellyel a korábbi domborzati viszonyok rekonstrukciójától következtet a jelen helyzet kialakulásának módjára és ütemére. Ennek ismeretében és a jelenleg ható felszínformáló erők tendenciájának megfigyelésével képes prognózist adni a domlorzat további fejlődésére.

A geomorfológia újabbban kidolgozta saját térképezési módszerét, amelyet főként a regionális kutatások eredményeinek rögzítésére alkalmaz. A domborzati formák kialakulás szerinti típusait, a felszínen működő múlt- és jelenbeli folyamatokat, azok dinamikáját, a felszíni formák korát, általános geomorfológiai térképen vagy különböző célú, tartalmú tematikus (geotechnikai) térképeken ábrázolja.

A geomorfológiai kutatási módszerek közé levonult a terepi és laboratóriumi kísérletezés, amelyet főként a külső erők dinamikus mozgásainak megfigyelésére modelleken és természetes körülmények között végeznek. Ezek a geomorfológiának azt az újabb keletű programját szolgálják, amely a jelenkori exogén felszínformáló folyamatok — elméleti és gyakorlati célú — mennyiségi és minőségi törvényszerűségeinek feltárására irányulnak. Mint a szovjetunióbeli tapasztalatok mutatják, erre a célra legalkalmasabbak az állandó kutató állomások, ahol mérőműszerekkel a természetes és mesterséges földrajzi környezetben, különböző tájmozaikokban működő fizikai (teljes hő- és vízváztartási egyensúly, lejtémozgás és lejtőkoldás stb.), kémiai-biológiai (talajbiomassza-produkció) és más exogén folyamatok is összehasonlítva vizsgálhatók.

Ez utóbbi módszerek alkalmazását a társadalom mai gazdasági-műszaki gyakorlatának igényei váltották ki. Ezzel a geomorfológia maga is arra törekszik, hogy praktikus célú feladatok megoldására alkalmazott tudományágát minél jobban kiszélesítse.

A gazdasági-műszaki célú alkalmazott geomorfológia, röviden nevezve „mérnöki geomorfológia” feladatát, tárgy körét, módszerét, egyszóval problematikáját az alábbiakban fejtjük ki.

A domborzat jelentősége a gazdasági-műszaki gyakorlat számára

Maga a domborzat alakja, tagoltsága mai társadalmunk mezőgazdasági-műszaki tevékenysége szempontjából mind nagyobb jelentőségűvé válik, amely anyagiakban, munkában, ill. energiában fejeződik ki. A domborzat, bár a földrajzi környezet legfontosabb alkotórésze, még nem került olyan sokoldalú értékelésre, mint a szárazulati vizek. Könnyű belátni azonban, hogy szerepe és „rejtett” potenciálja rohamosan fokozódik a természeti környezetre való mind nagyobb méretű mesterséges beavatkozás révén.

Az eddigi geomorfológiai kutatások szerint a domborzatot ugyanis természetes viszonyok között meghatározott dinamikus egyensúly — equilibrium — jellemzi (A. N. STRAHLER 1956; H. BAULIG 1940; I. P. GERASZIMOV 1969; Ju. A. MESCSEBJAKOV 1970; J. TRICART 1965).

A felszíni formák, azok konfigurációjának, lejtőinek időleges és dinamikus egyensúlya sok természeti tényezőtől függ. A tényezők rendszerében számítási alapul szolgál az adott domborzat és annak anyagi felépítése (litológiai és geológiai szerkezete), a ráható tektonikus és exogenetikus mozgásfajták mértéke. A folyamatok egymásra hatása nem egyirányú és nem egyenlő mértékű, de többnyire nem is egyvidejű. A domborzat nagy formáinak differenciálódását eredményező, relatíve lassú ütemű endogén mozgások a külső erők tevékenységét módosítják és ezáltal a felszín bizonyos dinamikai egyensúlyi tendenciával fejlődik tovább (I. P. GERASZIMOV 1969).⁴ A domborzati egyensúly alakulásában sajátos szabályozó szerepet játszik a talaj- és növénytakaró, mely az éghajlati feltételektől erősen függő mennyiségi és minőségi állaga szerint befolyásolja a külső erők tevékenységét, akadályozza a domborzat feltagolódását.

Amikor mezőgazdasági-műszaki munkálatok során a természetes domborzati egyensúlyt fenntartó faktorok valamelyikét megváltoztatjuk, a domborzat alakulásában is változás áll elő.

Szemléltessük a sokféle lehetőség közül a domborzat-egyensúly alakulását egy általános esetben. Ha pl. a mérsékelt öv erdő vagy erdő-sztyep zónájában laza homokos-agyagos üledékekből álló, enyhén hullámos síkság lassú emelkedésben (1 mm/év) van, rajta gyengén domboruló lejtőformák alakulnak ki. A domborzat lejtőin, adott helyen olyan egyensúlyi szelvény fejlődik ki, melyet egyrészt a kőzetviszonyok és a felszín borító talaj-, növénytakaró ellenállása, másrészt a lehulló csapadék, a lejtős tömegmozgás erőzói közötti összefüggés szabályoz. Ezen belül ugyancsak meghatározott egyensúly áll fenn az éghajlat — hő- és vízháztartás és a talaj — növénytakaró között.

A vizsgálatok szerint egy konkrét esetben pl. az erdőtakaró megbontása vagy teljes kiirtása a szántóterület növelése érdekében, a lejtőn lefolyó csapadékvíz eróziós hatásfokát az eredetihez viszonyítva akár tízszeresére is megnöveli. Az erózió nagyarányú, lokális felgyorsulását, a lejtőegyensúly megbontását eredményezi a völgyközi hátság lejtőinek útbevágásokkal való átmetésése stb. is. A felszíni lefolyás egyensúlyának meg-

⁴ A külső erők (víz, szél, tömegmozgások stb.) által a jelenkorban végbemenő általános lepusztulás, a felszín-lealacsonyodás évi mennyisége megközelítően olyan értékeket ad, mint a tektonikus emelkedések (2–4 mm évente).

bontása — a lejtő bemetszésével — az erózió koncentrációját, és ez felárkolást, csuszamlásokat stb. okozhat, nemcsak a műtárgy közelebbi, hanem távolabbi környéken is.

A fentebb vázoltakból érzékelhető, hogy az antropogén behatásra a természeti környezet sokoldalúan reagál — hő-, víz, talajvíz-háztartás egyensúlya bomlik meg, vele együtt a talaj és növényzet védőhatása, s ezek eredményeként a felszín további formálódása is megváltozik. Az ilyen összefüggéseknek a kutatása azonban már túlnőtt az általános geológia feladatkörén, és már hosszabb idő óta — mint fentebb bemutattuk — a geomorfológia vizsgálati körébe tartozik.

A „mérnöki geomorfológia” mint önálló tudományág

A mérnökgeológia az építkezés, vagy egyéb más gazdasági célra felhasználandó terület mérnöki szempontú értékelése érdekében alapvető feladatai közé sorolja a domborzati, ill. a természeti adottságok mindazon faktorainak vizsgálatát, amelyek hatással lehetnek a létesítmény elhelyezésére, üzemeltetésére, tartósságára stb. (V. D. LOMTADZE 1970, I. V. POPOV 1961, 1966; SZILVÁGYI I. 1965). Ebből következik, hogy a mérnökgeológiának feladatai helyes megoldása érdekében szüksége van a geomorfológia csaknem teljes gyakorlati célzatú kutatáskörére (lásd fentebb), de ezen belül hangsúlyozottan az exogén erők dinamikájára, a geomorfológiai szintézisre s a regionális geomorfológiára.

A geomorfológia eddig a mérnökgeológia tudományrendszerében, illetve a kézikönyvekben főleg a „geodinamika” vagy egyszerűen a „mérnöki geológia” megnevezés alatt rejtetten, névtelenül, de igen tekintélyes mértékben szerepelt.

Mind tudományelvi, mind gyakorlati szempontból helyesebbnek tartjuk, ha a mérnökgeológia tudományrendszerében a *geomorfológia* mérnökök számára alkalmazott anyaga „mérnöki geomorfológia” címen ugyanolyan önálló részként illeszkedik be, miként a mérnöki petrológia, a mérnöki (általános geológia) geodinamika, ill. a speciális és regionális mérnöki geológiai fejezetek.

A szovjet mérnökgeológiai szakkönyveknek ez utóbbi sorrend a tematikája, ill. tagozódása. Az általunk javasolt kiegészítés alapján a mérnökgeológia témaköre az alábbi módon tagozódik:

1. Általános mérnökgeológia (ált. elméleti, metodológiai)
2. Mérnöki petrológia
3. Mérnöki geodinamika (strukturális geológia és szeizmológia)
4. Mérnöki geomorfológia
5. Mérnöki hidrológia
6. Mérnöki speciális geológia (építési ágazatok szerint)
7. Mérnöki regionális geológia

Tudományelvi szempontból ez a tagozódás azért szükséges és helyes, mert ez felel meg a tényleges helyzetnek. A geodinamika keretében ugyanis mindjobban csak az endogén folyamatokkal és az általuk létrehozott formákkal foglalkoznak (l. G. A. SCHEIDEGGER 1961). Az exogén folyamatok és a domlorzat felszíni formáinak vizsgálata, értelmezése a geomorfológia kutatásköre. Az egymással való kapcsolat sem több, sem kevesebb, mint amilyen a geotudományok más ágazatai között fennáll. De miként nem lenne célszerű, ha a mérnökgeológia, vagy annak része, a mérnöki petrológia a talajmechanikát, amelyre természetesen sokoldalúan támaszkodik, névtelenül inkorporálná, vagy fordítva, éppen úgy nem lenne szerencsés, ha a mérnöki általános földtan, ill. geodinamika a geomorfológiát csaknem egész témakörével magába olvasztaná.

A fenti tagolás gyakorlati szempontból mind a mérnökgeológia számára, mind pedig a geomorfológia fejlődése részére előnyös. Az előbbi számára azért, mert széles körű feladatainak megoldásához a geomorfológia eredményeinek és módszereinek célzatos alkalmazásával több oldalú és megbízhatóbb információkra támaszkodhat. A geomorfológia részére viszont azért válik előnyössé, mert kutatási szempontját a gyakorlati igények felé bővíti, a jelenkori folyamatok és formák mennyiségi vizsgálatát és értékelését serkenti, melyet éppen az újabb kutatási programok tűztek ki célul, továbbá a terepkísérleti és mérési módszerek kiszélesítését meggyorsítja.

A geomorfológia eddig is közreműködött a gyakorlattal, ill. igyekezett kielégíteni a mezőgazdasági-műszaki tevékenység által feléje irányuló igényeket. Azonban szervezett keretek, megfelelő intézmények és elvi-módszertani alapvetés hiányában a geomorfológia a mérnöki gyakorlat, a tervezés segítése irányában lehetőségeit csak kismértékben tudta érvényesíteni.

A fentiekből következik, hogy a geomorfológiának a mérnöki szempontú, eddig még csak kibontakozásban levő irányzatait: alkalmazott geomorfológia, konstruktív földrajz stb. egységes mederbe, különálló tudományágazattá kell fejleszteni. Ezt célzerű a mérnökgeológia tudományrendszerébe olyan viszonylatban elhelyezni, mint amilyen annak a kapcsolata, ill. viszonya a többi ágazati tudományéhoz.

A hagyományos geomorfológia és a mérnöki geomorfológia közötti különbség ugyanúgy a téma megközelítésében és a célkitűzésben, de bizonyos fokon a kutatómódszerekben (a problematikában) nyilvánul meg, miként az a dinamikus geológia és a mérnökgeológia közötti esetben fennáll. A mérnöki geomorfológia ugyan a geomorfológiával további szoros kapcsolatot marad, ugyanakkor a folyamatok, a domborzatformák értelmezésében, a vizsgálat módszerében, s a kutatás eredményeiben túlmegy azon, illetőleg különbözik is attól. A külső erőket A. N. STRAHLER (1956) szerint úgy kell vizsgálni, mint a rugalmas, képlékeny és folyékony földfelszíni anyagokra ható gravitációs és molekuláris nyíró igénybevételt, melynek hatására jellegzetes formaváltozások jönnek létre. A molekuláris és gravitációs igénybevétel a mállás, lepusztulás, az anyagszállítás és üledékképződés formájában nyilvánul meg. A gravitációs tömegmozgás, az anyagszállító folyadékok mozgási energiája többnyire helyzeti energiából alakul át. A potenciális energiát a szélenergia kivételével a belső erők által differenciált magassági helyzetbe hozott domborzati felület képviseli.

A kiemelt domborzati helyzetbe hozott anyag fokozatosan alacsonyabb térszínű felszínre kényszerül áramlani. Másrésztől a napenergia ritmikus mozgatója a párával telt légtömegeknek, amelyeket a tenger szintjéről felemel és örvénylő mozgásba hoz. Majd a szárazulati vízgűjtőkre szállított csapadékvíz ugyancsak a potenciális energiája révén az alacsonyabb térszínre felé mozog, miközben helyzeti energiája kinetikus energiává alakul, melynek egy hányadával leküzdí a kőzet- és talajrészecskék kohézióját, ellenállását és ezzel biztosítja az anyag nap- vagy évszakosan megismétlődő szállítását az üledékgyűjtők felé.

A mérnöki geomorfológia feladatai

A gazdasági-műszaki tevékenységen belül az építkezési, területfejlesztési, talajjavító és -védelmi, továbbá tervezési és kivitelezési munkálatokhoz kapcsolódó kutatások területén a mérnöki geomorfológia feladatát az alábbiakban körvonalazhatjuk.

A mérnöki geomorfológia tárgya a domborzaton végbemenő külső folyamatok⁵ (1. táblázat) és az általuk kialakított formák vizsgálata és értékelése a műszaki-gazdasági létesítmények optimális elhelyezése, üzemeltetése szempontjából.

⁵ Tudott dolog, hogy a mérnöki gyakorlatban nagy szerepet játszó exogén folyamatok nem függetlenek a belső erők tevékenységétől, ill. annak domborzatformáló hatásától. Ezt a hagyományos geomorfológia figyelembe is veszi, különösen ha az exogén folyamatok tevékenységének eredményét geológiai értelemben vett időkeresztmetszetben kell értékelnie. A külső erők nagy része (1. táblázat), jelenkori működésének vizsgálata nem geológiai időtartamra szóló prognózisa esetén azonban a belső erők tevékenységének az értékét, a domborzat adott állagába számíthatjuk be. Gyakorlatilag ilyen módon rövid időszakra – az esetek nagy részében – lehetséges és szükséges is a külső erők: domborzat, lejtő stb. formálását önállóan vizsgálni.

1. A mérnöki geomorfológia feladatát az a körülmény határozza meg, hogy a műszaki létesítmények alapját, környezetét nemcsak bizonyos tulajdonságú kőzetek, illetve alapzat képezi, hanem domborzat is, amelynek energiája és a természeti környezettől függő, meghatározott fejlődési állapota van. A természeti (vagy fizikai földrajzi) környezet alkotói⁶ és folyamatai sok tekintetben egymást szabályozó rendszert képeznek. Ez az önszabályozó rendszer nyitott, a benne működő dinamikus erőket egymás közti egyensúly felé kényszeríti. Az egyensúly, az összhang többnyire nem teljes, és csak bizonyos ideig és helyen áll fenn, a részt vevő erők egymással szemben ellentmondásosan is hatnak. Ez az egyensúly — mint pl. a kiegyensúlyozott, kanyargós folyómedrekben vagy az egyensúlyi lejtőfelszínen — nem statikus mozdulatlanságot jelent, hanem I. P. GERASZIMOV (1969) találó kifejezése szerint ún. dinamikus egyensúlyt.

A mérnöki geomorfológia feladata tehát feltárni, hogy a domborzat, annak valamely része, fejlődése során elérte-e a dinamikus egyensúlyt vagy afelé közelít, továbbá az milyen tartósságú, vagyis *a hatóerők kényszerű kiegyensúlyozódása miatt időszakos, periodikus* vagy éppen csak *epizodikus formaváltozások* — pl. lejtő-, ill. partmozgások — *követik egymást*. Ehhez kapcsolódik annak a feltárása is, hogy a mozgásokat, a domborzat formaváltozásait a természeti környezet milyen összetevőinek, ill. folyamatainak a konstelációja váltja ki. Az ilyen felmérés a már meglévő létesítmény biztonságos üzemeltetése, természeti károsodása elleni védelme érdekében is szükségessé válhat, de többnyire a mérnökgeológiai komplex előtérv számára készül.

A mérnöki geomorfológiai feladat kidolgozásának szintje a felmérés léptékétől, a cél konkrétságától függően különböző lesz. Általános területfejlesztési előtérvhez természetesen tájékoztató (informatív) jellegű geomorfológiai felmérés készül, rendszerint térképes kivitelben. Ezt és a hozzákapcsolt magyarázó szöveget a mérnökgeológus értékeli abból a szempontból, hogy a domborzati adottságok milyen előnyöket vagy akadályokat jelentenek a tervezett létesítmény telepítésével vagy üzemeltetésével kapcsolatban.

2. A konkrét tervkidolgozáshoz kapcsolódó, alkalmazott geomorfológiai felmérések mellett, a mérnöki célkitűzések szolgálatába állított geomorfológiának *elméleti kutatási feladatai is vannak*.

Ismeretes, hogy az exogén folyamatok domborzatalakító hatása nem egyforma mértékben tanulmányozott. A mederben áramló víz dinamikájáról, mechanizmusáról a vízépítkezések és a folyószabályozások során sok fizikai törvényszerűséget tártak fel. Mégis a folyóvízi eróziós formák alakulásának értelmezésében is sok még a bizonytalanság. A lejtőkkel tagolt domborzat csaknem minden részén jelentős szerepet játszó felületi lemosásnak, a lejtőket felárkoló erózióknak a folyamatai is kevésbé tanulmányozottak. Hasonló a helyzet pl. a lejtős tömegmozgásos folyamatokkal és a talaj deflációs lepusztulásával kapcsolatban is.

A mozgást kiváltó tényezők sokrétűek és a fizikai-kémiai és biológiai folyamatok bonyolultan hatnak egymásra, ezért nehéz az általános törvényszerűségek feltárása. De a mérnöki geomorfológiának azzal a mérnöki munka, a prognózisadás biztonságát növelni, hogy az anyag fizikai mozgás-

⁶ Az adott litológiai-geológiai alap, beleszámítva annak tektonizmusát; az éghajlati elemek összessége; a felületileg, a felszín alatt és mederben lefolyó vizek, állóvizek, gleccserek, a talaj- és növénytakaró, állatvilág.

törvényeihez a mozgást és annak gyakoriságát előidéző körülményeket feltárja. Továbbá bizonyos típus-helyzeteket, típus-formákat állapítson meg a mérnöki felhasználás szempontjából. Az ilyen célú geomorfológiai kutatás a hagyományostól alapvetően különbözik szemléletében, az eredmények közlésében (a kiértékelést mind mennyiségileg, mind minőségileg el kell végezni stb.).

Fontos elméleti, de egyúttal gyakorlati feladat is felmérni és összehasonlítani, hogy az *antropogén hatásra a természetes környezethez viszonyítva milyen mértékben változott meg a folyamatok dinamikus egyensúlya*. Más szóval az erdő-, mezőgazdasági tevékenység és a már meglévő műszaki létesítmények (autópályák, víztározók stb.) hogyan illeszkednek be a természeti környezetbe, arra milyen nem várt hatást gyakorolnak. Ezekhez a vizsgálatokhoz — ma még csak mintaként működő — állandó komplex kutatóállomásokot kell kifejleszteni, továbbá rendszeresíteni kell a terepmegfigyelő és kísérletező mozgóállomásokot. Ezek és a speciális laboratóriumok az experimentális geomorfológia gyorsabb fejlődését eredményezik.

A mérnöki geomorfológia elméleti feladatai közé is tartozik a *kvantitatív geomorfológia* és a *matematikai analízis a geomorfológiában*, módszereinek továbbfejlesztése, a módszereknek a konkrét kutatásra és eredményközlés számára való alkalmazása.

Az általános geomorfológia, de egyúttal a mérnöki geomorfológia perspektivikus feladatának is tarthatjuk egy olyan mennyiségi elmélet kidolgozását, amely fizikai-matematikai formulákkal is helyesen kifejezné a domborzat vagy egyes formái kialakulását a felszínformáló erők által (SCHEIDEGGER 1961, ZVONKOV 1962, MESCERJAKOV 1970 stb.).

A mérnöki geomorfológia módszerei

A fentebbi célkitűzésből és feladatokból következik, hogy a mérnöki geomorfológia módszereiben is különbözik a hagyományos geomorfológiai kutatásoktól. A vizsgálat célkitűzése szerint ugyanis egyazon geomorfológiai folyamat, ill. forma szerepe és ennélfogva értékelése is eltérő jelentőségű. Egyrészt ugyan felhasználja az általános geomorfológia módszereit, másrészt túlmenően azokon, erősen támaszkodik a mérési-, számítási-terepkísérleti- és modellezési módszerekre is. E téren szoros kapcsolatot kell tartania a mérnök-geológiával, a hidrológiával és más rokntudományokkal, amelyek az exogén erők folyamatait mérik és mechanizmusát kísérleti úton vizsgálják.

1. Az általános vagy hagyományos geomorfológiai módszerek közül sorrendben

a) *morfometriát* (morfográfiát) alkalmazzuk a kérdéses terület relief-energiája, konfigurációja és típusaik számszerű értékelése céljából;

b) *morfogeográfiai módszerrel* a domborzat és a földrajzi környezet sokrétű kapcsolatát elemezzük és egyrészt általános összefüggéseket, másrészt a domborzat és az arra ható domináns folyamatok közötti kapcsolatot állapítjuk meg;

c) *morfodinamikai módszert* használjuk a felszíni formák egymást követő fejlődési szakaszainak meghatározására, mely a domborzat további várható alakulásának elemzésére, a prognózisadás lehetőségére szolgál;

d) a *geomorfológiai analízis módszer* segítségével a domborzati formák létrehozásában szereplő folyamatokat, domináns tényezőket tárjuk fel;

e) az összehasonlítás módszerével a geomorfológiai folyamatok és formalakzatok közötti összefüggéseket és különbségeket állapítjuk meg, továbbá a vizsgálat során valamely helyen ismert forma, folyamat vagy létesítmény hatásából következtetések levonásával jutunk eredményre.

2. Az alkalmazott mérnöki geomorfológiai kutatásokhoz szükséges további módszerek:

a) a matematikai-statisztikai módszerek alkalmazása a hagyományos geomorfológiában mérési adatok hiányában még nem eléggé elterjedt, segítségével viszont a folyamatok és formák mennyiségileg értékelhetők, amelyek a mérnöki tervezéshez elengedhetetlenül szükségesek;

b) a kísérletezéses módszerek — természetes környezetben, kis mintamodelleken és laboratóriumi kísérletek — segítségével a folyamatok többször megismételhetők és egyes olyan tényezők és törvényszerűségek ismerhetők fel, amelyeket a terepszemlélés folyamán vagy nem lehet megfigyelni, vagy az észrevételük a véletlenül múlik (N. I. MAKRAVEJEV 1961). A kísérleteket alkalmazzák a geomorfológiában is, mint pl. futóhomok szállítása, formák alakulása terepen, illetve szélcsatornában; a mederben és a lejtőn lefolyó víz tevékenységének vizsgálatára. Ez a módszer azonban elterjedtebb a mérnök-geológiában, vízépítéstanban és más olyan mérnöki tudományokban, amelyek az exogén erők közvetlen hatását — pl. fagyás — vizsgálják;

c) számítási módszerek segítségével, pl. topográfiai, geomorfológiai térképek és egyéb informatív adatok alapján kiszámítható, hogy valamely kis vízgyűjtő területre hullott csapadékból a völgytalpi építkezési helyre mennyi víz gyülemlik össze, továbbá egyes, időszakosan ismétlődő folyamatok: partomlás, medereltolódás várható bekövetkezése, illetve üteme stb.

d) a mérnöki szempontú geomorfológiai, domborzatdinamikai térképezés módszerével a geomorfológiai kutatási eredményeket mérethűen, helyhez kötötten és a kombinációkat együttesen adjuk meg. E tematikus térképek információi további számítások alapjául is szolgálnak.

A mérnöki geomorfológia előbbieken körvonalazott problémakörével foglalkozhat egyrészt a geomorfológus, aki alkalmazott kutatásait a mérnök-geológiai szempontok szolgálatába állítja, de a mérnök is, aki saját mérnök-geológiai feladatainak megoldására a geomorfológiát használja fel.

IRODALOM

- BAULIG, H. 1940. Le profil d'équilibre des versants. — Ann Géograph. 49, p. 81 - 97.
- BULLA B. 1954. Általános természeti földrajz II. köt. — Tankönyvkiadó, Budapest, p. 549.
- FAIRBRIDGE, R. W. 1968. The Encyclopedia of Geomorphology. — Reinhold Book Corp. New York. p. 1925.
- GORSHKOV, G. — YAKUSHOVA, A. 1967. Physical Geology. — Mir Publishers. Moscow. p. 596.
- SCHIEDGGER, A. E. 1961. Theoretical Geomorphology. — Berlin, Springer Verlag, p. 327.
- STRAHLER, A. N. 1950. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis. — Am. Journal of Sci., 248. p. 673 - 696, 800 - 814.
- STRAHLER, A. N. 1956. Quantitative slope analysis. — Bull. Geol. Soc. Am. 63. p. 571 - 595.
- SZILVÁGYI I. 1965. A mérnökgeológia, építésföldtan fogalma, tárgyköre, vizsgálati módszerei, kapcsolódása a földtani és mérnöki tudományokhoz. — Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, p. 12.
- TRICART, J. 1962. L'épiderme de la terre, esquisse d'une géomorphologie appliquée. — Masson, Paris, Evolution des Sciences, p. 1967.

- Трисарт, Ж. 1965. Introduction à la géomorphologie climatique. — Paris, p. 306.
- Герасимов, И. П. 1967. Структурный анализ рельефа и его содержание. «Методы геоморфологических исследований». Изд-во «Наука», Новосибирск, стр. 7—76.
- Герасимов, И. П. 1969. Современные рельефообразующие экзогенные процессы: уровень научного познания, новые задачи и методы исследования. Изд. М., АН СССР, сер. геогр. № 2, стр. 5—12.
- Девдариани, А. С. 1964. Измерение перемещений земной поверхности. Изд-во «Наука», М., стр. 255.
- Девдариани, А. С. 1967. Математический анализ в геоморфологии. Изд-во «Недра», М., стр. 155.
- Эвонков, В. В. 1962. Водная эрозия земли. Изд-во АН СССР, М., стр. 175.
- Эвонкова, Т. В. 1959. Изучение рельефа в практических целях. Госудн. злат. геогр. литературы, М., стр. 304.
- Коломенский, Н. В. — Комаров, И. С. 1964. Инженерная геология. Изд-во «Высшая школа», М., стр. 480.
- Ломтадзе, В. Д. 1970. Инженерная геология. Инженерная петрология. Изд-во «Недра», Л., стр. 527.
- Маккавеев, Н. И. Экспериментальная геоморфология. Изд-во МГУ, М., Вып. 1, 1961, стр. 194, Вып. 2, 1969, стр. 178.
- Мещеряков, Ю. А. 1970. Теория экзогенных процессов. Сб. Современные экзогенные процессы рельефообразования. «Наука», М., p. 223.
- Панюков, П. Н. 1962. Инженерная геология. Госгортехиздат, М., стр. 343.
- Попов, И. В. 1966. Научные проблемы инженерной геологии и производство. Вестн. МГУ, М., № 2, стр. 3—7.
- Попов, И. В. Инженерная геология СССР. Вып. 1, 1961, стр. 178, Вып. 2, 1965, стр. 477, Вып. 3, 1969, стр. 368. Изд-во МГУ, М.

DIE PROBLEMATIK DER INGENIEURGEOMORPHOLOGIE

Dr. M. Pécsi

Zusammenfassung

1. Die „Ingenieurgeomorphologie“ als selbständige Disziplin

Zur Erhöhung des Sicherheitsgrades der technischen Bauwerke verbreitet sich in der Ingenieurgeologie und auch in der Baugeologie im engeren Sinne immer mehr die Bewertung der physisch-geographischen Lage und der geomorphologischen Gegebenheiten und Vorgänge. Die Geomorphologie und ihre Forschungsergebnisse werden dadurch direkt oder indirekt zum organischen Teil der ingenieurgeologischen Planung. Die Ingenieurgeologie benötigt, um ihre Aufgaben richtig zu lösen, fast den vollständigen, praktisch geführten Forschungskreis, davon aber in erster Linie die Dynamik der exogenen Kräfte, die geomorphologische Synthese und die regionale Geomorphologie.

Die Geomorphologie war bisher im System der ingenieurgeologischen Wissenschaften und in den Handbüchern unter der besonderen Bezeichnung „Geodynamik“ oder einfach als „Ingenieurgeologie“ ohne Benennung versteckt, doch in beträchtlichem Masse vorhanden.

Sowohl von wissenschaftsprinzipiellen, als auch von praktischem Gesichtspunkt aus betrachten wir es für mehr angebracht, wenn das für Ingenieure angewandte Material der Geomorphologie dem System der ingenieurgeologischen Wissenschaft unter dem Titel „Ingenieurgeomorphologie“ als selbständiges Teilgebiet angepasst wird, gleich den Disziplinen wie Ingenieurgeologie, Ingenieurgeologie (Geodynamik), Ingenieurgeologie, spezielle und regionale Ingenieurgeologie.

Der Unterschied zwischen der traditionellen Geomorphologie und der Ingenieurgeomorphologie äussert sich ebenso in der Annäherung des Themas und in der Zielsetzung, ja gewissermassen in den Forschungsmethoden (in der Problematik), wie es im Falle zwischen der dynamischen Geologie und der Ingenieurgeologie besteht. Die Ingenieurgeomorphologie bleibt zwar mit der Geomorphologie nach wie vor in enger Verbindung, doch übertrifft sie zugleich, bzw. weicht davon in bezug auf die Erklärung der Vorgänge und Oberflächenformen, die Untersuchungsmethoden und die Forschungsergebnisse ab.

2. Gegenstand und Aufgaben der Ingenieurgeomorphologie

Der Gegenstand der Ingenieurgeomorphologie ist die Untersuchung und die Bewertung der an der Oberfläche sich vollziehenden Vorgänge und der durch sie ausgestalteten Formen, hinsichtlich der optimalen Ansiedlung und Inbetriebhaltung der technisch-wirtschaftlichen Bauwerke.

a) Die Aufgabe der Ingenieurgeomorphologie wird durch den Umstand bedingt, dass der Baugrund und die Umgebung der technischen Bauwerke nicht nur durch Gesteine gebildet werden, sondern auch durch das Relief, das eine bestimmte Reliefenergie, Dynamik und einen von der natürlichen Umgebung abhängigen Entwicklungszustand besitzt. Die Komponenten, die Vorgänge der natürlichen (oder physisch-geographischen) Umgebung bilden ein sich in vieler Hinsicht regulierendes System. Dieses selbstregulierende System ist offen und zwingt die in ihm wirkenden dynamischen Kräfte nach einem Gleichgewicht untereinander zu. Das Gleichgewicht ist zumeist nicht vollständig, es besteht nur eine gewisse Zeit hindurch und an einer gewissen Stelle, die beteiligten Kräfte wirken auch gegeneinander in entgegengesetztem Sinne. Dieses Gleichgewicht – wie z. B. in den ausgeglichenen, meandrierenden Flussbetten oder an der Oberfläche der Ausgleichsgehänge – bedeutet keineswegs eine statische Unbeweglichkeit, sondern ein sog. dynamisches Gleichgewicht.

Die Aufgabe der Ingenieurgeomorphologie ist also zu erschliessen, ob das Relief oder ein Teil davon im Laufe seiner Entwicklung das dynamische Gleichgewicht erreichte oder ihm näher kommt. Ferner, ob es andauernd ist, d. h. ob infolge des zwangsmässigen Ausgleiches der Wirkungskräfte saisonale, periodische oder eben nur episodische Formwandlungen – beispielsweise Hang- und Uferbewegungen – aufeinander folgen. Daran knüpft sich auch die Ermittlung, bei welcher Anordnung der Komponenten und der Vorganges der Naturumgebung sich die Bewegungen, Formwandlungen des Reliefs einsetzen. Eine solche Ermessung kann sogar im Interesse der sicherlichen Inbetriebhaltung, des Schutzes vor Naturschäden der bereits vorhandenen Bauwerke notwendig werden, wird aber zumeist für eine ingenieurgeologische komplexe Vorplanung angefertigt.

b) Neben den sich an konkrete Planausarbeitung verknüpfenden, angewandten geomorphologischen Eimmessungen hat die in den Dienst der ingenieurmässigen Zielsetzungen gestellte Geomorphologie auch theoretische Forschungsaufgaben.

Es ist bekannt, dass die oberflächengestaltende Wirkung der exogenen Vorgänge nicht in gleichem Masse studiert ist. Es wurden über die Dynamik, Mechanik des im Gerinne strömenden Wassers im Laufe der Durchführung von Wasserbauten und Flussregulierungen viele Gesetzmässigkeiten erschlossen. Dennoch gibt es auch noch in der Deutung der Gestaltung der fluviatilen Erosionsformen viele Unsicherheiten. Auch die Vorgänge der flächenhaften Abspülung, der die Gehänge zerfurchenden Erosion, die fast in allen Teilen des durch Gehänge zerteilten Reliefs eine bedeutende Rolle spielen, sind wenig untersucht. Die gleiche Lage zeigt sich z. B. in bezug auf die Vorgänge der Massenbewegungen an den Hängen und die Bodenabtragung durch Deflation.

Die Ingenieurgeomorphologie soll den Sicherheitsgrad der Ingenieurarbeit und der Prognosenangabe dadurch erhöhen, dass sie für die physischen Bewegungsgesetze des Materials die der Bewegung und deren Häufigkeit zugrunde gelegenen Verhältnisse ergründet. Sie soll ferner gewisse Lagentypen, Formtypen für die ingenieurmässigen Anwendungen feststellen. Eine ingenieurgeomorphologische Forschung mit solchen Zielsetzungen weicht von der traditionellen in ihrem Aspekt grundlegend ab, die Auswertung soll sowohl quantitativ, als auch qualitativ durchgeführt werden.

Es ist eine wichtige theoretische und zugleich praktische Aufgabe zu ermessen und zu vergleichen, in welchem Masse sich das dynamische Gleichgewicht der Vorgänge unter anthropogenen Eingriff im Verhältnis zur natürlichen Umgebung umwandelt. Anders gesagt, wie sich die forst- und landwirtschaftliche Tätigkeit und die bereits vorhandenen technischen Bauwerke (Autobahnen, Wasserspeicher usw.) der Naturumgebung anpassen, welche unerwartete schädliche Wirkung sie darauf ausüben.

Zu diesen Untersuchungen sind – heute noch nur als Muster vorhandene – ständige komplexe Forschungsstationen zu entwickeln, es müssen ferner Wanderstationen für Geländebeobachtungen und Versuche eingesetzt werden. Diese und die speziellen Laboratorien ergeben die raschere Entwicklung der Experimentalgeomorphologie.

Zu den theoretischen Aufgaben der Ingenieurgeomorphologie gehört auch die Weiterentwicklung der Methoden über die quantitativen Geomorphologie und die mathematische Analysis in der Geomorphologie, die konkrete Forschung der Methoden und ihre Anwendung an die Ermittlung der Ergebnisse.