

LUDVÍK LOYDA

## PŘÍSPĚVEK K POZNÁNÍ EROZNÍ TEORIE

V poslední době se ve světě ozývá stále více kritických hlasů, požadujících revizi učebnic všeobecné geologie. Výzkumy příbuzných vědních oborů (hlavně geodézie a geofyziky) přinesly už totiž množství nových poznatků, které jsou v naprostém rozporu s geologickými představami, vyslovenými často před 100 i více lety. Tyto staré úvahy jsou ovšem v učebnicích prezentovány ne jako ná-pady či neověřené představy, ale jako vědecké výklady, u nichž se předpokládá, že vznikly seriózní výzkumem. Jejich formulace bývá zcela jednoznačná, takže ani nevzniká nedůvěra či pochybnosti o jejich správnosti. Z úvah se tak rázem staly poučky: např. představa o magmatických krbech, o diferenciaci magmatu, o isostasi ap. Podobná situace se vlastně vyvinula i v geomorfologii — např. výklady o říční erozi.

Původ těchto stále ještě uznávaných představ o vzniku říčních údolí musíme hledat až v 18. století, v období vývoje a později i konfrontace dvou tehdejších hlavních myšlenkových směrů v geologii — plutonismu a neptunismu. Už tehdy existovala v genetických názorech dvojí linie — erozní a tektonická, která se udržela až do doby, kdy se podařil přívržencům erozních představ dodnes hodnověrně vyhlížející výklad vzniku tzv. antecedentních údolí. Po jeho vyslovení hlavní představitel tektonického směru O. Peschel (1869) už dále nedokázal ani lépe zdůvodnit svá tvrzení ani odhalit rozpornost této nově vzniklé erozní spekulace.

Tektonické výklady byly tedy opuštěny a nikdo je už dále vážněji nezkoumal ani neobhajoval. Podíl tektoniky byl sice z naprosté nutnosti časem opět připuštěn, ale zůstal trvale zredukován jen na skutečně nezbytné minimum, bez něhož by hlavní erozní výklad ani nebyl možný — na počáteční zdvih či pokles území, podmiňující odtok vody z vyšších do nižších poloh a tedy i působení eroze a akumulace. Na této bázi pak už bylo možno dále konstruovat a rozvíjet i jiné erozní představy — o rovnovážném stavu v podélném profilu řeky, o erozních cyklech, o vlivu ledových dob na tvorbu systémů říčních teras ap.

Za charakteristický rys erozních výkladů je však dnes možno označit jejich celkovou nepromyšlenost a povrchnost, která se už jen při poněkud důkladnějším zkoumání musí jasně objevit. Dále uváděné pochybnosti nejsou proto vlastně ničím neočekávaným — mohly jistě dávno leckoho napadnout. Vždyť už Hettner (1928) připouštěl nejasnost erozních výkladů a varoval před dogmatismem.

### Vznik volných a zaklesnutých meandrů

Na potlačení tektonických názorů a vítězství erozních domněnek mělo vliv kromě zmíněné představy o antecedenci i jednoduché vysvětlení vzniku zaklesnutých meandrů. Hluboká točitá říční údolí zjevně nejen vůbec nepodporovala vytvoření jakéhokoliv jasnějšího tektonického názoru, ale naopak svým půdorysem se vždy zdála jen potvrzovat svou příbuznost s volnými meandry rovinných řek. V době vítězících erozních představ proto nikoho ani nenapadlo, že by hluboké údolní zákruty mohly být jiného než říčního původu.

Dnes je už zřejmé, že problém správnosti či pochybenosti výkladů o antecedenci nelze řešit odtrženě od ostatních erozních názorů a pouček. Především jej nelze oddělit právě od otázky zaklesnutých meandrů, s nimiž se v tzv. antecedentních údolích často setkáváme.

Podobnost volných a zaklesnutých meandrů se ovšem týká pouze půdorysu říčního koryta — o žádné jiné shodě nelze vůbec mluvit. A na této jediné podobnosti byla nakonec vykonstruována celá dnešní představa erozního zařezávání a geneze zaklesnutých meandrů. Intenzivní hloubková eroze je v těchto výkladech vždy tak samozřejmá, že už ani není třeba přihlížet k rozdílným v geologické stavbě území, k průběhu strukturních linií, dislokací, ke změnám spádu údolního dna, k rozměrům údolí vzhledem k velikosti řeky ap.

První etapou vývoje zaklesnutých meandrů je v erozní teorii nutně tvorba meandrů volných. Nezbytnou podmínkou jejich vzniku je malá rychlost vodního proudu, která nestačí k vymylání do hloubky, ale naopak je charakterizována rozvojem eroze bočné. Transportační síla vodního toku je přitom také nepatrná, takže k většímu přemísťování sypkých uloženin dochází prakticky jen při nejvyšších vodních stavech.

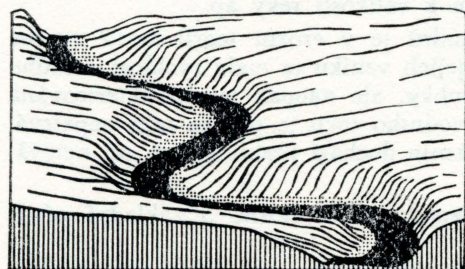
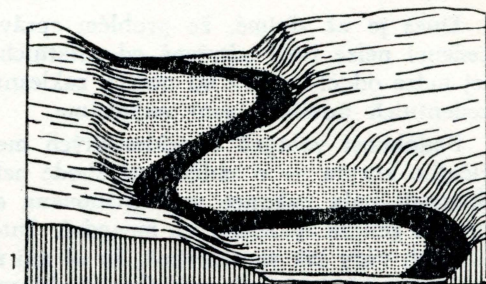
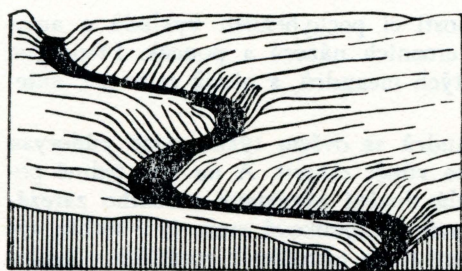
K volnému meandrování jsou tedy bezpodmínečně nutné 3 základní předpoklady:

- a) nepatrný spád vodního toku,
- b) zmenšení hloubkové eroze na minimum nebo její úplný zánik,
- c) dostatečné množství nepevných sedimentů, v nichž může řeka bez velké námahy meandrovat.

Tyto základní podmínky je ovšem třeba mít na zřeteli i při erozním vysvětlování vzniku tzv. zaříznutých meandrů. Dosavadní výklady k nim však většinou přesto příliš nepřihlízejí — např. Davisovo schema (obr. 1), ukazující vývoj říčních údolí v průběhu erozního cyklu, je na pohled jasné a zcela logické, nevšímáme-li si ovšem horninové stavby území, v němž meandrující řeka vytváří své údolí. V případě, že jde o nepevněné sedimenty, pak schéma zcela vyhovuje, protože v těchto podmínkách může řeka skutečně bočně erodovat i transportovat uvolněný materiál. Se schematem však nelze souhlasit ve všech ostatních případech, kdy řeka teče v pevných horninách, které slabá bočná eroze není schopna rozrušit.

Všimněme si však také chování vodního toku při měnícím se spádu údolního dna. Při zmenšení spádu a tedy i při snížení rychlosti toku je zcela samozřejmým jevem nástup bočné eroze a současně i vznik volných meandrů. Kmitání proudnice je známou vlastností tekoucí vody a amplituda těchto kmitů je pak závislá kromě na velikosti toku především na spádových poměrech dna. Zdá-li se být tedy jevem zcela přirozeným závislost meandrování na zmenšení spádu, pak by měl být neméně logickým i postup opačný, tj. opětné narovnávání proudnice a tím i vodního toku při zvýšení spádu říčního dna. Tuto zvratnost v reagování vodního proudu na měnící se spádové poměry potvrzuje např. Twidale (1966) na řekách sz. Queenslandu v oblasti plochého vodního předělu Selwyn, který se nyní zvolna zvedá. Vodní toky, které zde donedávna volně meandrovaly, mají dnes sice rozvětvená, ale mnohem přímější koryta právě v důsledku zvýšení spádu při tomto zdvíhu.

Erozní teorie si však zřejmě vybrala ke svým výkladům jen tu polovinu přírodního jevu, kterou mohla právě použít. Opačný proces, tj. opětné narovnávání toku a likvidaci meandrů však při svých výkladech zcela opominula. Zde je třeba připomenout, že při začínajícím zvyšování spádu, tj. na počátku předpo-



3

1. Schema erozního vývoje údolí v období mládí (1) a zralosti (2, 3). Podle Davise.

kládaného zařezávání, volně meandrující řeka stále ještě teče ve svých sypaných uloženinách, v nichž dosud vytvářela své zákruty, takže tu nejsou žádné nové ani nepřekonatelné překážky pro opětné napřimění toku.

Zůstávají-li tedy podmínky z doby vzniku volných zákrutů až do okamžiku zvyšování spádu nezměněny, pak rozdíly v amplitudě kmitání proudnice je možno vykládat pouze podle pouček hydrodynamiky. Žádná sebe lépe vyhlížející erozní spekulace tuto skutečnost nemůže vyvrátit. Objektivně musí tedy platit, že jakýkoliv nástup hloubkové eroze v důsledku zvýšení spádu musí u řeky, dosud volně meandrující ve svých nezpevněných sedimentech, začínat především narovnáním jejího toku a teprve potom může dojít k zařezávání do hloubky.

Potvrzení správnosti této úvahy o nemožnosti zařezávání volných meandrů pak přichází i z další strany. Makkavejev a Chmeleva (1969) došli při studiu říčních meandrů k závěru, že dnešní řeky jsou schopny vytvářet pouze meandry volné, ale ne meandry zaklesnuté! A to ještě — podle uznávaných erozních představ — by měl být dnešek jako obdoba interglaciální vlastně obdobím vysloveně erozním (oproti glaciálům s převládající akumulací)!

### Antecedence

Vznik zaklesnutých meandrů je v erozní teorii v prvním stadiu vždy závislý na tvorbě meandrů volných, vzniklých v nezpevněných nánosech. Teprve v druhé fázi pokračuje hloubkové zařezávání do skalního podkladu. Tuto část činnosti vodního toku objasňují další erozní představy — antecedence a epigeneze. Funkce řeky je v obou případech stejná — u antecedence řeka prořezává překážku, vysunovanou tektonicky vzhůru, kdežto při epigenezi vládne tektonický klid a řeka se k této skryté překážce dostává zvolna shora v důsledku silného odnosu a snižování úrovně zemského povrchu. V obou výkladech však nakonec vodní tok musí hloubkovou erozí prořezat překážku, tvořenou vždy odolnějšími horninami.

U přímých úseků říčních údolí lze antecedenci i epigenezi považovat za dobře

míněný pokus o vysvětlení údolní geneze, avšak u točitých údolí — a těch je většina — se epigenetické i antecedentní výklady dostávají rázem do rozporu s vlastním erozním principem.

V domněnce o antecedenci je erozní zařiznutí vysvětlováno dvěma různými způsoby: průběžnou a zpětnou erozí.

a) *Průběžná eroze*. Existence zaklesnutých meandrů (např. Labe v Českém středohoří nebo střední Vltavy) je podle erozních představ nutně dokladem toho, že zde řeka před tímto předpokládaným antecedentním zařiznutím volně meandrovala. Už jen z tohoto důvodu ovšem také žádný pozdější lokální zdvih nemohl být tímto pomalu tekoucím, meandrujícím a tedy pouze bočně erodujícím vodním tokem proříznut. Antecedentní výklad však přesto mluví o průběžné hloubkové erozi, která stačí překonat toto poměrně rychlé zvedání místní překážky — a to právě při jinak celkově nezměněných spádových poměrech, kdy hloubková eroze přece prakticky neexistuje. Rozpornost antecedentního výkladu je tedy očividná.

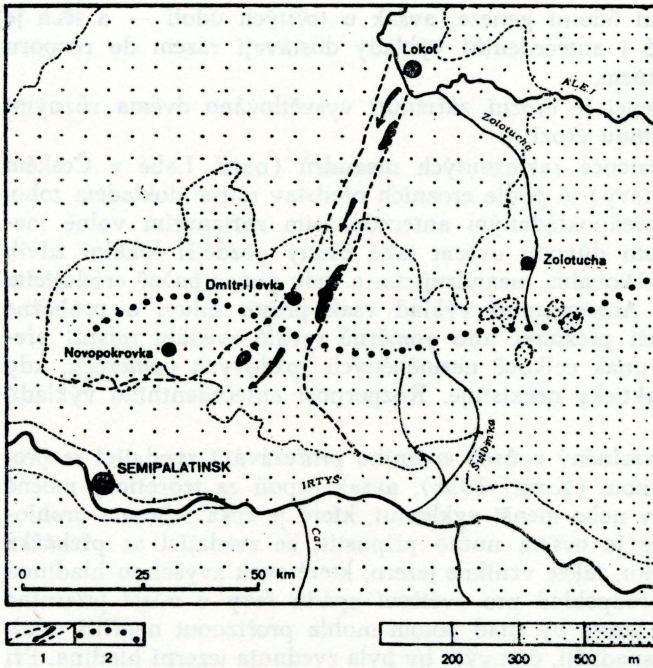
b) *Zpětná eroze*. Výše zmíněný způsob erozního prořezávání zvedající se překážky je tedy třeba odmítnout (Krejčí 1936), avšak aspoň za teoreticky možné lze považovat vysunutí kry nebo menší vyklenutí, které je řeka schopna prohlodávat retrogradní erozí. Zde je ovšem nutno připustit, že zvedající se překážka zahradí pomalu tekoucí řeku, takže vznikne jezero, které svou zvýšenou hladinou vytvoří pak i nezbytný předpoklad pro zvětšení spádu řeky v místě jezerního výtoku. Voda odtékající z jezera by snad potom mohla proříznout nepřítisť odolnou překážku — a to tím snadněji, čím výše by byla zvednuta jezerní hladina. Při takto vzniklém zvýšení spádu by ovšem v první řadě muselo opět dojít k narovnání toku a tím i k likvidaci dosavadních volných meandrů v tomto úseku.

Stopy těchto tektonicky hrazených jezer se však obvykle nenašly. Nikde také nebyl objeven jiný odtok z takto vzniklého jezera, který by odváděl jeho vody po celé období, v němž by retrogradní eroze prořezávala předpokládanou překážku. Je tedy zřejmé, že jak předpoklad plynulého prořezávání zvedající se překážky tak i vznik jezera a tím i zpětné eroze jsou sice líbivými, ale jen zcela nepodloženými nápady, které nelze považovat za řádný výklad geneze uvedených „antecedentních“ údolí.

### Piráství

Logičtějším vysvětlením činnosti vodního toku je ovšem přeložení říčního koryta z místa vznikající překážky, které bočně meandrující řeka může jistě snadno provést. Tato migrace, dokládaná často opuštěným korytem na vrcholu zdvižené překážky, patří v systematické erozních představ už do další skupiny spekulací a není řazena k výkladům o antecedenci. Vysvětluje ji piráství, předpokládající přítomnost dalšího vodního toku a jeho abnormálně rychlou zpětnou erozi — náhlou a zřejmě i ojedinělou, protože na okolních vodních tocích nebyla obvykle zjištěna (resp. nebyl důvod ji zde předpokládat).

Náhlou změnu směru toku („nácepny loket“) je ovšem možno vysvětlit i bez těchto předpokladů, které nelze nijak doložit, a to buď pouhým uhnutím řeky před zvedající se překážkou nebo přetržením říčního údolí při zemětřesení ap. V prvním případě může být příkladem náhlý ohyb řeky Aleje u Semipalatinsku (obr. 2) nebo naopak narovnání starého ohybu Ohře u Postoloprť v důsledku zvedání jz. okraje Českého středohoří a současných poklesů při jeho jv. úpatí. V druhém případě se eroze na vzniku náhlých ohybů vodních toků též vůbec nepodílí (obr. 3).

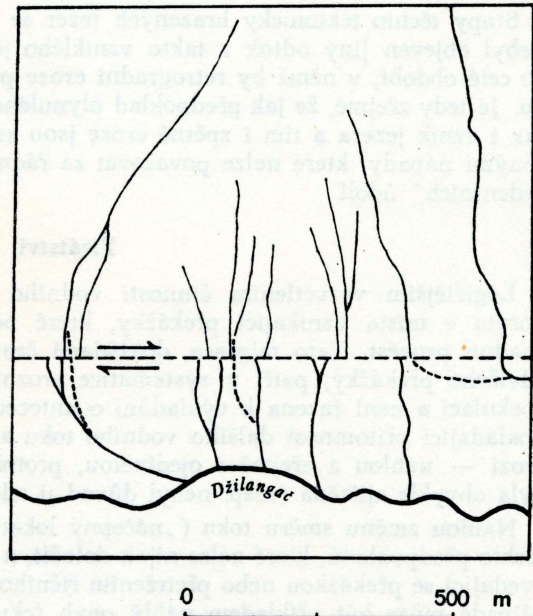


2. Opuštění starého koryta a ohyb řeky Alej u Semipalatinsku v důsledku vzniku mladé klenby (Finko, Rantsman 1962). K „antecedenci“ zde zřejmě nedošlo.

Vysvětlivky:

- 1 — staré koryto  
2 — osa klenby

3. Horizontální posuny ker a přetržení koryt vodních toků při zemětřesení (Burtman 1965). Náhlé ohyby řek nejsou tedy „náčepnými lokty“, vzniklými „pírástvím“ vodních toků.



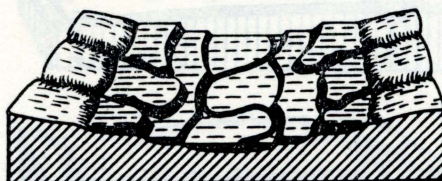
Přes uvedené rozpory a nepodloženost však mají všechny erozní úvahy stále svou vážnost. Zdá se, že jen velký stupeň důvěry v naprostou správnost těchto starých doměnek je mohl uchovat zcela nedotčeny a neovřeny po celé století.

## Etapovitě zařezávání vodních toků

Nehledě k antedecenci a k zaklesnutým meandrům je z erozního hlediska i pouhé etapovitě zařezávání vodního toku a vznik říčních teras také otázkou ne zcela jednoznačnou. Dnešní řeky i jejich údolí svými rozměry jasně neodpovídají řekám, o nichž předpokládáme, že vytvořila údolí starší, charakterizovaná výše položenými terasovými úrovněmi. Erozní zahlubování je tedy zřejmě provázeno i neustálým zužováním říčních údolí (obr. 4). Podle erozních úvah je toto zužování vysvětlováno menší vodností řeky — zřejmě v důsledku trvale se zmenšujících vodních srážek. Tato uznávaná představa je ovšem také dokonale rozporná, protože předpokládá k vysvětlení jediného jevu tj. k zařezávání řek současně:

a) zvětšenou vodnost řeky pro umožnění vlastního procesu zařezávání a transportu zvětralín,

b) zmenšenou vodnost řeky pro vysvětlení postupného zužování říčního koryta. Těmito pochybnostmi o správnosti erozních výkladů se ovšem brzy dostaneme k tektonickým pohybům, které jedině mohou tak rozsáhlé změny spádových poměrů vodních toků ovlivnit a vysvětlit tak lépe i otázku vzniku říčních terasových systémů (stupňovité zlomy a grabeny).



4. Postupné zužování údolí při „erozním zařezávání“ vodních toků. Vžitá erozní představa.

## Dosavadní představy o tektonických vlivech

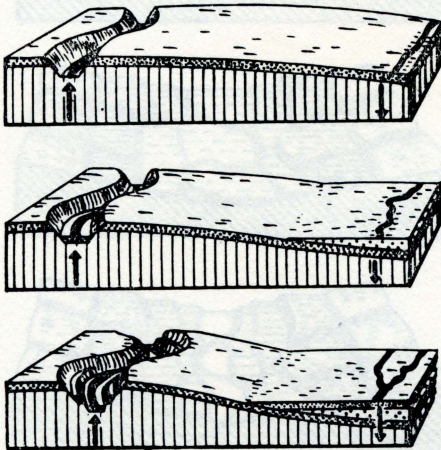
Výklad vzniku tektonických údolí a vůbec tektonických jevů bylo vždy nesnadno dokládat přesně zjištěnými údaji. Obnažených zlomových ploch s viditelnými stopami posunů sousedících ker ani hlubších geologických profilů nebylo nikdy tolik, aby mohly přesně objasnit tektonickou stavbu většího území. Také nejasné dohady o vlastní podstatě tektonického pohybu nebyly a dosud nejsou silnou stránkou geologických výkladů, které proto i z tohoto hlediska měly vždy značnou nevýhodu proti jednoduchým a přesvědčivě podaným, i když ne ovšem správným představám erozím.

a) *Tektonická predispozice.* Geologie i geomorfologie se o ní často zmiňují při erozním výkladu vzniku říčních údolí. Tento široký pojem je ovšem obvykle jen předpokladem existence zlomové linie, probíhající pod dnem údolí, na které je podle našich představ usnadněno působení říční eroze (rozpuštění a rozdrčení hornin).

Tuto předpokládanou výhodu může ovšem řeka využít jen tehdy, má-li dostatečně velký spád. Teče-li příliš pomalu — jako např. při volném meandrování — pak tato predispozice není k ničemu, protože při malém spádu řeka nehloubí ani ve svých vlastních jemných a nezpevněných sedimentech.

Přitom je zajímavé, že tato predispozice je předpokládána jen u přímých úseků říčních údolí, avšak ne už v místech křížení zlomů, strukturních linií nebo celých zlomových systémů. Náhlé ohyby údolí a jeho klikacení bývají stále zdůvodňovány spekulativně tj. hlavně retrogradní erozí, pirátským a zařezáváním volných meandrů.

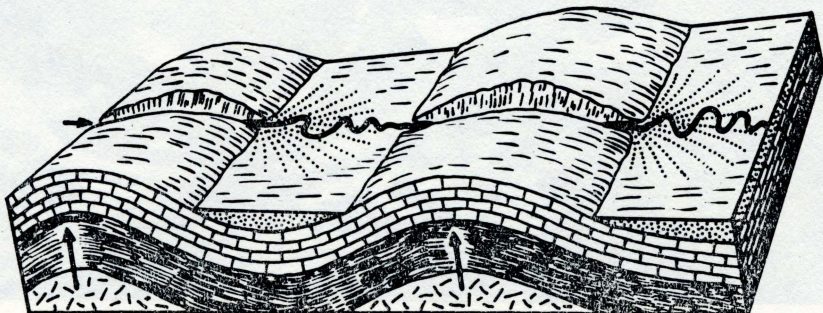
b) *Klenby a praskliny.* Velmi obtížná a ani ne vždy zcela možná geologická průkaznost a existence skrytých zlomů a malá znalost povahy tektonického pohybu vůbec vedla nakonec k nesprávnému objasňování a hodnocení celkového podílu tektoniky na vývoji říčních údolí. To je zřejmě ze základních kreslených schemat v učebnicích všeobecné geologie a geomorfologie, v nichž je sice kladeno zařezávání řek do souvislosti se vznikem kleneb (obr. 5, 6), ale přitom se zcela zanedbávají nezbytné průvodní jevy při tomto prohýbání pevné zemské kůry — vznik prasklin a trhlin na vrcholu, svazích i okrajích vyklenujícího se území. Ve schématu je to sice odpustitelné, ale ve vysvětlování principu ohnutí pevné vrstvy nebo celé zemské kůry je toto opominutí velkým nedostatkem — díky



5. Dosavadní erozní představa o vyklenování zemské kůry bez vzniku prasklin a zlomů i grabenovitých údolí. Řeky se zařezávají na vrcholu klenby.

kterému je ovšem jedině umožněn např. dosavadní výklad antecedence. Této úmyslné či neúmyslné nepřesnosti se dopouští Davis a jeho chyba je tradována dále.

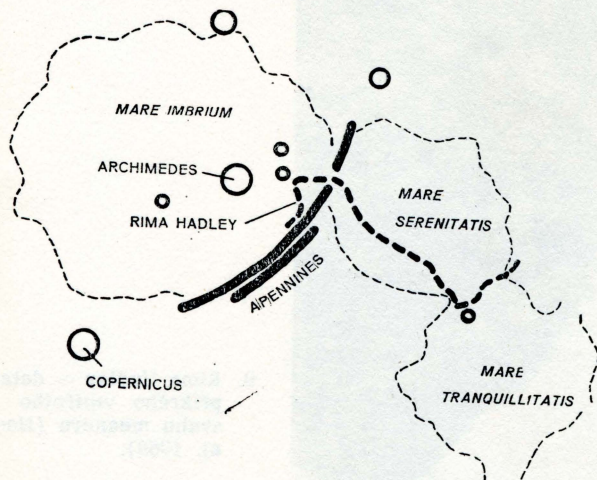
Při každém ohybu pevné vrstvy a tedy i zemské kůry musí totiž k rozpukání dojít a geologie s ním počítá i v malých rozměrech. V případě antence by ovšem uznání vzniku těchto puklin, jejich rozevírání a nutné tvorby grabenovitých údolí porušilo samozřejmě soběstačnost i celý systém spekulativních erozních výkladů.



6. Vznik „antecedentních“ údolí podle erozních představ. Předpokládá se prohýbání pevných hornin beze zlomů a zároveň se popírá základní erozní poučka, že volně meandrující řeka může erodovat pouze bočně, ale ne do hloubky.

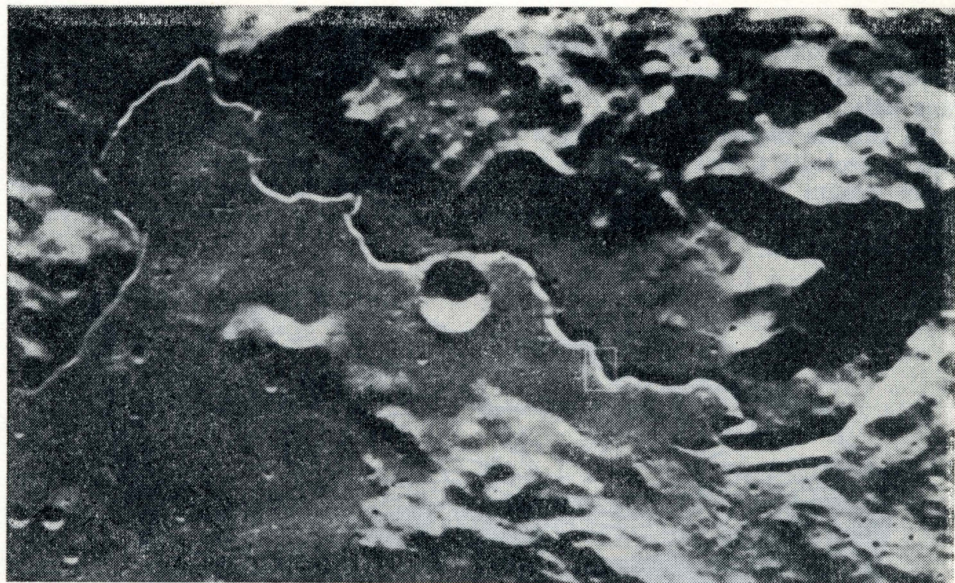
Dnešní geomorfologie tedy jednak uznává výklad geologický (vyklenutí s vývojem puklin a grabenů) a jednak jej i popírá (antecedentní vyklenování). Tyto dva rozdílné výklady nejsou rozhodně důkazem dvou různých způsobů prohýbání zemského povrchu. Jde tu zřejmě buď o neujasněnost nebo o obcházení principu tohoto základního přírodního děje.

Zdá se tedy, že všechny dosavadní erozní představy jsou svým zanedbáváním skutečných tektonických vlivů nejen jednostranné, ale dokonce v zásadě chybné. Opakovaná nivelační měření prokázala už totiž zcela zřetelně, že dna říčních údolí se pohybují samostatně a s větší intenzitou než jejich okolí a mají tedy charakter klesajících ker (Loyda 1971).

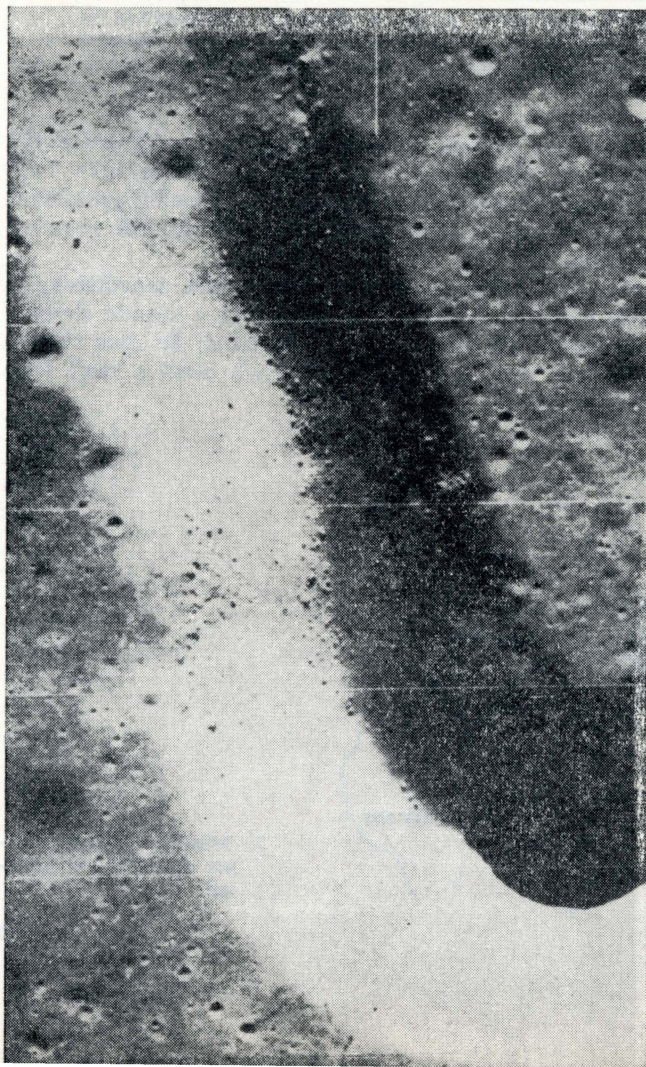


7. Měsíční brázda „Rima Hadley“ — schema.





8. Rima Hadley — fotografie družice Lunar Orbiter V. [Hess aj. 1969].



9. Rima Hadley — detail příkrého vnitřního svahu meandru [Hess aj. 1969].

Dalším dokladem jasně tektonického vzniku jsou údolí a celé údolní sítě, vytvářející se v místech, kde chybí vůbec vodní toky. Příkladem může být známá brázda „Rima Hadley“ na povrchu Měsíce (obr. 7, 8, 9) nebo vrcholové části saharského pohoří Ahaggar (obr. 10). Zde jistě nemůžeme počítat s říční erozí. Lze se však objektivně domnívat, že všechna tato údolí — a to bez ohledu na přítomnost či nepřítomnost vodních toků na jejich dně — vznikla stejným způsobem. Protože ovšem erozní způsob je ve většině případů naprosto vyloučen, zbývá jedině výklad tektonický.



10. Údolní síť na vrcholových částech saharského pohoří Ahaggar vznikla zřejmě eolickým zvětráváním a nečinností vodních toků (Atlas des formes du relief, 1956).

### Říční a ledovcová eroze

Sem lze zařadit ještě úvahu, demonstrující spekulativnost erozních výkladů a jejich odtrženost od skutečnosti. Všeobecně se předpokládá, že při erozním zahlubování působí na dno jak proudící voda tak i materiál unášený vodním proudem. Srovnajme však sílu této říční eroze se silou eroze ledovcové, která je podle erozních výkladů mnohem slabší, takže je schopna provádět pouze „premodelování“ říčních údolí.

Na materiál spodní morény, který při posunu ledovce odírá dno údolí, působí jistě značný tlak nadložních vrstev ledu. Při mocnosti ledovce 100 m je to zhruba tlak 10 kg/cm<sup>2</sup>. Odírání dna i jeho rýhování je tedy snadno pochopitelné.

V protikladu k této velké síle ledovcové eroze pak stojí viditelně nepatrná síla vodního toku. Na valouny říčního dna totiž nepůsobí žádná váha nadložní jako u ledovce, ale naopak každý z nich je podle Archimedova zákona ještě lehčí o váhu vytlačené vody. Jestliže tedy valoun o objemu 1 dm<sup>3</sup> má při hustotě 2,7 vlastní váhu 2,7 kg, pak ve vodě je tato váha o 1 kg menší. Tlak na dno je tedy

v tomto případě pouze 0,017 kg/cm<sup>2</sup>. Je tedy zřejmé, že erozivní síla ledovců musí být mnohonásobně vyšší síla vodních toků. K této skutečnosti ovšem erozní výklady vůbec nepřihlížejí.

Zde je však třeba objektivně poznamenat, že u prudkých horských bystřin, kde dochází k častějším vodním přívalům a je unášen hrubý balvanitý materiál, může docházet i k hloubkové erozi. Ta zde však nezávisí na množství, tvaru a váze unášeného materiálu, ale jejím charakteristickým rysem je zde pravděpodobně otloukání dna a stěn říčního koryta rychle transportovanými, poskakujícími většími balvany. Tento druh eroze nelze ovšem zevšeobecňovat a předpokládat jej u všech vodních toků.

### Rychlost zařezávání

Na skutečné znalosti povahy erozních procesů se nezakládá ani naše představa o hloubkové erozi vodních toků v nezpevněných horninách. Bezpečně víme jen to, že erozní rýhy vznikají při jediném prudším dešti tj. třeba během několika minut. Jak dlouho však trvá zahloubení vodního toku o několik metrů — to zatím nebylo ještě zjištěno. Přesto však bývá vznik nízkých stupňů, častých hlavně na povrchu nižších akumulacních teras i údolní nivy, spojován se stadiály ap., tedy s obdobími trvajících řádově stovky a tisíce let.

V příkrém protikladu k této vžitě erozní představě jsou však poznatky, získané při zemětřesení na Alasce v r. 1964 (Kirkby 1969). V Alaském zálivu se zvedl ostrov Montage a ústí jeho potoků s etak ocitla náhle v úrovni až o 10 m vyšší. V sypkých horninách, tvořících povrch ostrova, proběhla však hloubková eroze až k opětovnému vyrovnání podélného profilu těchto potoků tak rychle, že za 48 hodin po zemětřesení bylo toto nové zahloubení už skončeno a nastoupila eroze bočná.

Je tedy zřejmé, že rychlost zařezávání vodních toků v nezpevněných horninách je velmi značná a řádově odpovídá rychlosti tvorby dešťových rýh. Je však viditelně v naprostém rozporu s dnešní erozní představou o dlouhodobém vzniku nízkých terasových stupňů a tedy i s výklady o souvislosti jejich tvorby se zaledněním.

### Závěr

V uvedených jednoduchých porovnáních je pravděpodobně v hlavních rysech vyjádřena základní vlastnost erozních představ: malá podloženost a rychlé zevšeobecnění. Erozní teorie je tedy doslova systémem představ, založeným jen na velmi malé znalosti přírodního děje, kterým byla říční údolí vytvořena. Kromě několika známých grabenů jsou všechna údolí považována a priori za erozní. Údolní geneze už není problémem ani předmětem zkoumání, ale vlastně známou skutečností, kterou lze jen doplňovat detailnějšími erozními úvahami. Výsledkem jsou proto časté rozpornosti ve výkladech — charakteristická vlastnost každé nepodložené úvahy a neexaktní metody výzkumu.

Nezbývá proto než vážně zapochybovat o správnosti všech výkladů, vycházejících z dosavadního principu říční eroze. Odhalování dalších rozporů v erozních poučkách musí pak nutně urychlit i konečné řešení celé otázky vzniku říčních údolí. Bude to s největší pravděpodobností ve prospěch nových, řádně doložených výzkumů (např. opakované nivelace), potvrzujících v podstatě správnost starých tektonických představ Peschelových.

- BURTMAN V. S. (1965): Sovremennyye gorizontaľnyje smeščenija po Talaso-Ferganskom razlome v Tjan'-Šane. — Sovrem dviž. zem. kory, 2:192—198, Tartu.
- FINKO E. A., RANTSMAN E. J. (1962): Geomorphological interpretation of the data provided by repeated levelling in the lowmountain areas of Kazakhstan (Arys-Alma-Ata — Semipalatinsk). — I. Internat. Symp. über rezente Krustenbewegungen, 348—355, Leipzig.
- HESS W., KOVACH R., GAST P. W., SIMMONS G. (1969): The exploration of the Moon. — Sci. Amer., October, 55—72.
- HETTNER A. (1928): Die Oberflächenformen des Festlandes. — Geogr. Schriften, 4:178 p., Leipzig-Berlin.
- KIRKBY M. J., KIRKBY A. V. (1969): Erosion and deposition on a beach raised by the 1964 earthquake, Montague Island, Alaska. The Alaska earthquake, March 27, 1964, Regional effects. — Geol. Surv. Prof. Paper 543-H, 41 p.
- KREJČÍ J. (1936): Několik poznámek k teorii o antecedenci. — Sborník Čs. spol. zem., 12—17.
- LOYDA L. (1971): Tektonika řičních údolí a nivelační měření. — Geodet. a kart. obzor; č. 9. 224—228.
- MAKKAJEJEV N. I., CHMELEVA N. V. (1969): Obščije osobennosti ruslovych processov na izlučínach i metodika ich issledovaniy. — Eksperim. geomorfologija, 2:7—25, Mosk. univ.
- PESCHEL O. (1853): Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche. — 4. Aufl., 215 p., Leipzig.
- TWIDALE C. R. (1966): Late Cainozoic activity of the Selwyn Upwarp, northwest Queensland. — J. Geol. Soc. Austral., 13:2:491—494.
- Atlas des formes du relief (1956). Institut Geographique National, 179 p., Paris.

## BEITRAG ZUR KENNTNIS DER EROSIONSTHEORIE

Diese kritische Betrachtung geht von der Überzeugung aus, dass die Überlegungen zur Erosionstheorie, die vor mehr als 100 Jahren geboten wurden, in den Hand- und Lehrbüchern der Geologie und der Geomorphologie weiterhin als wissenschaftliche Tatsachen verbreitet werden. Es wird versucht, die Oberflächlichkeit und Widersprüchlichkeit der bez. Vorstellungen an den Deutungen der Entwicklung von Flusstälern darzulegen.

*Freie und eingeschnittene Mäander.* Bei der Erklärung der Entwicklung dieser Formen lässt die Erosionstheorie die petrographische Struktur des Gebietes — vgl. z. B. das Davissche Schema (Abb. 1) — unberücksichtigt. Freie Mäander entstehen durch Schwingung der Stromlinie, die eine bekannte Eigenschaft des fließenden Wassers ist. Die Amplitude dieser Schwingungen und dadurch auch die Grösse der Mäander ist dann vollkommen von der Geschwindigkeit der Wasserströmung und daher vom Gefälle der Talsohle abhängig. Bei einer Verminderung des Gefälles kommt es zum Mäandrierungsvorgang, bei einer Vergrößerung des Gefälles dann unbedingt zur horizontalen Begradigung des Stromes. Die erosionstheoretischen Deutungen berücksichtigen nur den einen Teil des natürlichen Vorganges, nämlich das Entstehen der Mäander bei Verminderung des Gefälles. Die vertikale Begradigung der Stromlinie und dadurch auch Beseitigung der Mäander übergehen sie vollständig. Freie Mäander entstehenden jedoch nur in unverfestigten Ablagerungen und es besteht daher kein Hindernis für eine abermalige Begradigung des Stromes bei einer Vergrößerung des Gefälles. Nur die Ausserachtlassung dieser Rückbezüglichkeit im Reagieren des Stromes auf die Veränderungen des Gefälles der Talsohle ermöglicht die heutige Interpretation vom erosionsmässigen Einschneiden der freien Mäander in den sog. Antezedenztälern.

*Antezedenz und Epigenese.* Die Entstehung von Antezedenztälern wird durch durchlaufende oder rückschreitende Erosion erklärt. Bei der ersten Interpretierung wird eine der Grundkenntnisse der Erosionslehre übersehen, dass nämlich beim freien Mäandrieren der Fluss nicht in die Tiefe erodiert und daher auch kein in Hebung befindliches Hindernis durchschneiden kann. Dasselbe gilt auch für die Epigenese, wenn der Fluss zum verborgenen Hindernis bei tektonischer Ruhe von oben gelangt.

Für den mäandrierenden Wasserlauf gilt, dass dieser nicht nur das Hindernis nicht erreichen, sondern dass er dieses auch nicht durchschneiden kann. Im Falle der rückschreitenden Erosion gibt es für diese Interpretierung ganz und gar keine Nachweise.

Das in Hebung befindliche Hindernis müsste den Fluss sperren, die Wasserfläche heben und die Entstehung eines Sees hervorrufen. Spuren solcher Seen wurden jedoch nirgends gefunden, ebensowenig ihre Abflüsse in der Zeit, in der die rückschreitende Erosion das entstandene Hindernis durchschneiden sollte. Da nichteinmal Spuren dieser rückschreitenden Erosion gefunden wurden, kann diese Deutung nur für einen Versuch zur gedankenmässigen Erkenntnis gehalten werden.

*Piratum.* Die bisherige Erklärung rechnet mit einem hypothetischen (Piraten-) Fluss, dessen Tätigkeit und Existenz wir nur voraussetzen müssen. Der sog. Anzapfungsbogen kann auch ohne erw. Voraussetzungen erklärt werden, und zwar entweder durch Abweichung des Wasserlaufes an der Stelle des in Hebung befindlichen Hindernisses (Abb. 2) oder durch Reissen und Verschiebung des Flusstales beim Erdbeben (Abb. 3).

*Etappenmässiges Einschneiden von Wasserläufen.* Die erosionstheoretischen Auseinandersetzungen setzen für die Erklärung eines einzigen Phänomens, d. h. für das Einschneiden von Flüssen, zugleich folgendes voraus:

- a) erhöhte Wassermenge — für den eigentlichen Prozess des Einschneidens,
- b) verminderte Wassermenge — für die Deutung der sukzessiven Einengung des Flusstales.

Die Widersprüchlichkeit dieser Erwägung ist offensichtlich.

*Die erosionstheoretischen Auseinandersetzungen mit den tektonischen Einflüssen*

- a) *Tektonische Praedisposition.* Hier wird das Vorhandensein eines Bruches unter der Talsohle, der die Tiefenerosion beschleunigt, vorausgesetzt. Beim freien Mäandrieren schneidet sich jedoch der Fluss nichteinmal in seinen eigenen feinen Ablagerungen ein, sodass die „Praedisposition“ sich nicht geltend machen kann. An den Stellen der eingeschnittenen Mäander wird dann die tektonische Praedisposition nicht mehr vorausgesetzt und die Talentwicklung wird in einer anderen Weise erklärt.
- b) *Aufwölbungen und Klüften.* Bei der Aufwölbung der Erdoberfläche rechnen die erosionstheoretisch orientierten Interpretationen nicht mit der Entstehung von Spalten, Brüchen und Gräben (Abb. 5, 6). Das Entstehen dieser ist jedoch vom geologischen Gesichtspunkte notwendig. Wiederholungsnivellements zeigten daher auch klar das Sinken der Talsohlen, bzw. der Sohlen der engen Graben. Ausserdem beweist auch das Aufkommen von gewundenen grabenartigen Tälern auf dem Monde (Abb. 7, 8, 9) oder des Talnetzes in den Gipfelregionen des Gebirges Ahaggar (Abb. 10), dass nicht nur Täler, sondern auch eingeschnittene Mäander in vollkommener wasserlosen Gebieten entstehen können.

*Gletscher- und Flusserosion.* Die Erosionstheorie behauptet, dass die Wassererosion Flusstäler bildet, während die Gletschererosion im Stande ist diese Täler bloss „umzumodellieren“. Die Intensität der Gletschererosion ist jedoch unvergleichlich grösser als die Flusserosion. So wirkt z. B. ein Talgletscher von nur 100 m Mächtigkeit auf die Schotter der unteren Moräne, die die Talsohle abreiben, mit einem Druck von  $10 \text{ kg/cm}^2$ , während die Sedimente der Talsohle bei Flusstälern auf ihrem Untergrund — nach dem Archimedischen Lehrsatz — nichteinmal mit ihrem eigenen Gewicht wirken können. Diese Tatsachen lassen die erosionskundlichen Deutungen ebenfalls unberücksichtigt.

*Das Einschneiden der Wasserläufe in lockere Sedimente.* Die Erosionstheorie erkennt eine grössere Geschwindigkeit des Einschneidens nur beim Aufkommen von Regenfurchen und Regenrillen. Das Formieren von niedrigeren Stufen auf der Oberfläche der Akkumulationsterrassen verbindet sich jedoch mit der Veränderung der Wassermengen der Flüsse in den Stadialen und Interstadialen — also in Zeitabschnitten auch von mehreren Jahrtausenden. Diese Vorstellung entspricht ebenfalls nicht der Wirklichkeit. Dies zeigte sich beim Erdbeben auf Alaska im Jahre 1964, als im Golf von Alaska die Insel Montague um 10 m gehoben wurde. Die Bachmündungen gelangten so in die Höhe von 10 m über dem Wasserspiegel, doch das Einschneiden in die lockeren Gesteine geschah so rasch, dass binnen 48 Stunden nach dem Erdbeben das Längsprofil bereits ausgeglichen war und die Seitenerosion antrat. Es ist daher vollkommen klar, dass die Geschwindigkeit des Einschneidens der Wasserläufe ordnungsmässig eher der Gestaltung von Regenfurchen entspricht, dass es jedoch vollkommen im Widerspruch ist mit der erosionstheoretischen Vorstellung von der Entstehung der Terrassenstufen: einschliesslich ihrer Zusammenhänge mit den Klimaschwankungen im Pleistozän.

Die ganze schwerwiegende Problematik würde zweifelsohne eine eingehende Revision der bezüglichen Kapitel in den geologischen und geomorphologischen Hand-

und Lehrbüchern erfordern. Unser kurzer Beitrag stellt natürlich keine systematische Beleuchtung der Frage dar, doch es ist anzunehmen, dass bereits die theseartigen Bemerkungen die Unvollkommenheit der auf der Erosionstheorie aufgebauten Deutung der Entstehung und Entwicklung der Flusstäler genügend bezeugen.

#### Verzeichnis der Abbildungen:

1. Schema der Entwicklung von Erosionstälern im Stadium der Jugend (1) und der Reife (2, 3).
2. Der Fluss ALEJ beim Verlassen seines alten Flussbettes und die damit verbundene Ablenkung in der Nähe von Semipalatinsk, die der Entstehung der jungen Aufwölbung folgte (nach Finko u. Rantsman, 1962). Es ist zu keinem Antezedenzvorgang gekommen!  
Erläuterungen: 1 — das alte Flussbett, 2 — die Aufwölbungsachse.
3. Die Seitenverstellung der Schollen und die Verlegung der Flussbette verursacht durch tektonisches Erdbeben (Burtman 1965). Flussablenkungen dieser Art sind daher nicht als durch Piratentum entstandene „Knien“ aufzufassen.
4. Die fortschreitende Verengung der Täler infolge des Einschneidens der Flüsse nach der bisher geltenden Erosionshypothese.
5. Die bisherige Erosionsvorstellung von der Aufwölbung der Erdkruste und vom Einschneiden der Flüsse in den Scheitel der Aufwölbung, die die Entstehung von Spalten, Brüchen und Gräben vollkommen unberücksichtigt lässt.
6. Die Entstehung der antezedenten Täler nach der Erosionstheorie. Es wird ein Biegen der festen Gesteine vorausgesetzt — also kein Entstehen von Spalten und Brüchen. Die Darstellung ist zugleich im Widerspruch mit dem Grundprinzip der Erosionstheorie selbst, da nach diesem der frei mäandrierende Fluss nur seitlich aber nicht in die Tiefe erodieren kann.
7. Die Rinne „Rima Hadley“ auf dem Monde. (Schematisch).
8. Rima Hadley — eine Photoaufnahme des Satelliten Lunar Orbiter V. (Hess u. A., 1969).
9. Rima Hadley — Detail vom steilen inneren Talhang des Mäanders (Hess u. A., 1969).
10. Das Talnetz in der Gipfelregion des Ahaggar-Gebirges (Sahara). Dieses Netz ist zweifelsohne durch äolische Verwitterung und nicht durch Tätigkeit der Wasserströme entstanden (Atlas des formes du relief, 1956).