

JÁN URBÁNEK

ZOSUNY A TEÓRIA SYSTÉMOV

Эта статья занимается с оползнями, искаая критерий для классификации оползней. Метод этой работы не является традиционным. Она опирается на теорию общих систем. Оползни изучаются в рамках системы, в рамках склона. Характер этой системы зависит от размеров времени и пространства которыми эта система определится. Один раз склон является закрытой системой, второй раз открытой системой. Частью обнаружить функцию оползней в этих системах это цель предлагаемой работы.

I. ÚVOD

1.1. Predmetom nášho štúdia sú zosuny, a to geomorfologické procesy, ako aj geomorfologické formy. Zosuny si všimame hlavne z aspektu klasifikácie pre potreby regionalizácie. Našou snahou je poukázať na niektoré nové, netradičné prístupy k riešeniu tejto otázky, a to z hľadiska všeobecnej systémovej teórie. Riešenie tejto úlohy vyplynulo zo širších otázok geografickej rajonizácie ČSSR. Prvý prístup k jej riešeniu som urobil vo forme písomnej práce ku kandidátskemu minimu. Predložená štúdia je prepracovaným výťahom z tejto práce.

1.2. Zosun je jav, na ktorý sa možno dívať z rôznych hľadísk, a to z hľadiska geomorfológie, mechaniky pôd, hydrológie, erózie pôd a pod. Z každého hľadiska sa zosun javí sčasti inak. Presný obsah názvu „zosun“ ťažko vymedziť. Ťažkosti rastú, ak porovnáme tento názov s približne ekvivalentnými cudzojazyčnými názvami.

Názvu „zosuny“ odpovedá v nemčine názov „Rutschungen“ (37), v ruštine sú to „opolzni“ (22, 23, 24, 43, 53), v poľštine „osuwiska“ (28, 54), v angličtine mu odpovedajú najčastejšie dva názvy „landslides“ a „earthflows“ (26, 30, 44, 55), zriedkavejšie iba jediný názov „rapid mass movement“ (16).

Jednotliví autori sa opierajú o rôzne kritériá. Preto za jednotlivými názvami sa skrývajú procesy a formy inak definované, do určitej miery odlišné. Všetky majú však jednu spoločnú črtu, sú gravitačnými procesmi. Gravitačné procesy predstavujú taký pohyb materiálu dolu stráňou, ktorý vzniká iba pod vplyvom gravitačnej sily bez prispenia nezávislých agentov, ako sú voda a vietor (30). Pod týmto názvom sa skrývajú rôzne procesy voľného pádu cez zosuny až po soliflukciu a zliezanie. Preto ak chceme zosuny klasifikovať, musíme sa opierať o túto ich spoločnú črtu. Musíme ich študovať v rámci gravitačných procesov, v rámci stráne, v rámci určitých celkov, systémov. Stráň môžeme definovať ako časť krajiny, včlenenú medzi tok a rozvodie (30).

1.3. Pri štúdiu konkrétnych javov, teda i zosunov, sa nám črtajú dve základné cesty, dva metodologické postupy. Jedna vychádza od konkrétneho a stúpa k abstraktnému. Začína sa štúdiom konkrétnych systémov — zosunov, stráňí. Na tomto empirickom základe sa potom buduje abstraktný všeobecný systém, akýsi model reality.

Druhá cesta vedie opačným smerom. Začína sa pri abstraktných systémoch, pri systémových modeloch. Vychádza zo systému ako takého. Z hľadiska tohto abstraktného systému sa díva na konkrétne systémy, v našom prípade na stráň.

Pri úvahách tohto druhu musíme mať stále na zreteli, že oba metodické postupy neslobodno, ba ani nemožno od seba odtrhnúť. Možno iba klásť väčší dôraz na jeden či druhý postup. V obdobiach, keď v danom vednom odbore prevláda jeden, treba začať uprednostňovať druhý prístup k problému. Tradičným postupom pri výskume geomorfologických javov je postup od konkrétneho k abstraktnému. My zvolíme opačnú cestu, ktorá je menej obvyklá.

1.4. Naša štúdia sa zaoberá novým zložitým problémom. Autor si preto nerobí nárok na jeho úplné riešenie. Chce iba načrtnúť nový prístup ku geomorfologickým problémom, a to na príklade zosunov. Skôr problém nadhadzuje ako rieši. Na tomto mieste mi prichodí poďakovať sa doc. Dr. E. Mazúrovi, DrSc., ktorý ma v práci viedol a veľa mi pomáhal.

2. TRADIČNÝ PRÍSTUP

2.1. Pri výskume zosunov sa spravidla kládol dôraz na konkrétne zosuny v teréne. Z množstva preskúmaných zosunov sa potom podobné zosuny grupujú, klasifikujú sa. Výsledky týchto klasifikácií závisia od cieľa, ktorý autor sleduje.

2.2. Zosuny majú značný negatívny hospodársky význam. Preto sa im veľa pozornosti venovalo z tohto praktického hľadiska. V ČSSR sa pristúpilo dokonca i k celoštátnemu výskumu zosunov (52), a tak máme k dispozícii veľa materiálu o zosunoch (3, 11, 14, 31, 33, 34, 35, 36, 40, 45, 46, 52, 59, 61, 62, 63, 64 — to je citovaný len výber tejto literatúry o zosunoch). Všetky práce tohto druhu však nechápu zosun ako geomorfologický jav. Svoju pozornosť venujú iba zosúvajúcim sa stráňam. Ostatným stráňam pozornosť nevenujú. Chápu zosuny v izolovanosti, nie ako jeden proces z celého komplexu stráňových procesov. Veľa črt zosunu im preto uniká. Tieto práce smerovali i dospeli k inému cieľu, ako je náš. Z nášho hľadiska predstavujú zdroje cenného faktologického materiálu. Ich interpretácia či klasifikácia zosunov je však pre naše účely málo vhodná (35, 52, 62, 64).

2.3. V zahraničnej literatúre je situácia podobná. Veľa prác sleduje praktické ciele, dívajúc sa na zosuny z hľadiska pôdnej mechaniky. Ako ukážky môžu slúžiť práce F. Pentu (42), I. V. Popova (43), A. E. Scheideggera (49) a K. Terzaghiho (57).

Aká je situácia v klasifikácii zosunov? Vari najvýstižnejšie ju hodnotí I. V. Popov (43), ktorý považuje všeobecné klasifikácie zosunov za príliš abstraktné, vhodné iba na pedagogické účely. Odporúča zosuny klasifikovať iba vo vzťahu k danému územiu, klasifikovať ich regionálne.

2.4. Zosunmi sa zaoberajú i početné čisto geomorfologické práce (1, 10, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 37, 44, 54, 55, 56, 58, 65). Ukazujú zosun už ako geomorfologický proces a formu. Zosun sa chápe v širších vzťahoch, vo vzťahu k iným stráňovým procesom, fluviálnym procesom a pod. Žiaľ, zosunu sa nevenuje špeciálna pozornosť, v popredí sú iné javy. Klasifikácie zosunov sa v jednotlivých prácach líšia. I tak pre nás však znamenajú oveľa viac než predchádzajúce klasifikácie.

V angloamerickej literatúre (26, 30, 44, 55, 56) sa spravidla stráňové procesy i zosuny delia podľa mechanických vlastností materiálu, opierajúc sa tak o presné fyzikálne princípy. Tieto princípy sa považujú za jedinú plnoprávne klasifikačnú kritérium. Toto kritérium je rozhodne dôležité, avšak neúplné. Skupiny procesov, ktoré

vzniknú takouto klasifikáciou, obsahujú procesy z fyzikálneho stanoviska rovnaké, no napriek tomu dosť rozdielne procesy.

2.5. Ďalšia skupina autorov, vari uvedomujúc si neúplnosť prechádzajúcich klasifikácií, používa iné kritériá. O. Maull (37) delí gravitačné stráňové procesy podľa objemu a rýchlosti pohybujúceho sa materiálu. Zosuny patria medzi „rýchle“ pohyby „veľkého“ objemu materiálu. Samotné zosuny delí podľa rôznych kritérií.

V. C. Finch a kol. (16) delí gravitačné stráňové procesy na rýchle a pomalé. Zosuny patria medzi prvé. Sú to individualizované procesy, vytvárajúce výrazné formy. Samotné zosuny delí podľa mechanických vlastností. Pomalé procesy — zliezanie a soliflukcia — sú všeobecné procesy bez výrazných príslušných foriem.

B. Kayser (25) označuje zosuny ako javy v priestore a čase diskontinuitne rozmiestnené. Zložitým vzťahom zosunov k priestoru i času sa zaoberá i E. P. Jemeljanovová (23).

2.6. Náš veľmi skrátenejší prehľad literatúry môžeme uzavrieť. Prvá skupina prác poskytuje množstvo cenného, no nevelmi prehľadného faktologického materiálu. Klasifikačné kritériá druhej skupiny sú presné a v určitej miere rozhodne i oprávnené. Ich použitím sa však abstrahuje od špecifika geomorfologického procesu. Tento proces sa redukuje na proces fyzikálny. V tretej skupine okrem nepresných kritérií „veľký, rýchly“ sa objavujú ako kritériá zaujímavé vzťahy, vzťah formy a procesu, vzťah k času a priestoru, individualizovanosť javu. Žiaľ, ostalo iba pri náznakoch.

Napriek bohatým znalostiam niet ešte klasifikácie, o ktorú by sme sa mohli pri plnení našej úlohy oprieť.

3. SYSTÉMOVÝ PRÍSTUP

3.1. O zosunoch máme nahromadeného veľa faktologického materiálu. Nevieme ho však jednoznačne interpretovať, ani klasifikovať. Toto je signálom, že treba k problému pristupovať z nového aspektu z hľadiska systému, opierajúc sa o teóriu všeobecných systémov (4, 8, 18, 20).

3.2. Von Bertalanffy (8) definuje systém veľmi všeobecne „súbor elementov, ktoré sú v interakcii“. Bližšie systém definujú A. D. Hall a F. E. Fagen (18): „Systém je súbor objektov a vzťahov, ktorými sú tieto objekty a ich atribúty pospájané“. Objekty sú časti systému. Atribúty sú vlastnosti objektov. Nemožno sa uspokojiť s definíciou systému, pokiaľ sa aspoň nedotkneme jeho okolia. „Pre daný systém sú okolím všetky objekty, ktorých meniac sa atribúty ovplyvňujú systém a tiež objekty, ktorých atribúty sa menia v závislosti od chovania sa systému“ (18). Celkom prirodzene sa vynára problém hranice medzi systémom a jeho okolím. Hranica systému sa môže viesť rôznym spôsobom závisiac od zámeru, úmyslu autora, študujúceho vybraný jav (18).

3.3. Významu autorovho úmyslu, či ním adoptovaného systémového modelu sa dotýka i L. J. Chorley (20), keď vraví, že interpretácia daného javu závisí jednak od adoptovaného modelu, jednak od vlastností samého javu (pozri aj 21). R. J. Chorley týmto ukázal možnosť systémového prístupu i v geomorfológii, možnosť dívať sa na geomorfologické a geografické javy ako na systémy, ako na systémové modely.

3.4. Systémové modely sa delia na dva základné typy, na otvorený a zatvorený systém (8, 20, 56). Zatvorený systém je taký, ktorý je izolovaný voči okoliu. Neprijíma z tohto okolia energiu, hmotu a ani ju nevydáva. Jeho vývoj smeruje k takému druhu rovnováhy, v ktorom prístupná voľná energia dosiahne minimum, entropia maximum. V stave entropie sa energia stáva neschopnou vykonávať prácu. Entropia je mierou

pravdepodobnosti. Toto finálne štádium plne determinujú iníciaľne podmienky. História zatvoreného systému je sledovateľná (8, 20, 56).

3.5. Druhým systémovým modelom je otvorený systém. Otvorený systém kontrastuje so zatvoreným systémom. Otvorený systém potrebuje k svojej existencii energiu. Získava ju konštantným importom a exportom materiálu, energie z okolia a do okolia, s okolitými systémami. Otvorený systém upravuje svoju formu tak, aby export a import materiálu boli rovnaké, aby odovzdal okolitým systémom toľko energie, koľko z nich prijal. Takýto systém je v rovnovážnom stave. Rovnovážny stav otvoreného systému teda ostro kontrastuje s rovnovážnym stavom systému zatvoreného, s entropiou. Otvorený systém v rovnovážnom stave je aktívnym systémom. V rovnovážnom stave zatvoreného systému niet aktivity (8, 20, 56).

3.6. Aj ďalšia črta odlišuje oba systémy. Zatvorený systém sa vyvíja iba v jednom smere, v smere k maximálnej entropii. Aj otvorený systém môže dosiahnuť stav entropie. Systém v tomto stave môžeme považovať za variantu otvoreného systému, za ten prípad, v ktorom import a export sú rovné nule. Konceptia otvoreného systému tak v sebe obsahuje koncepciu systému zatvoreného (20). Otvorený systém sa však môže vyvíjať nielen v tomto smere, ale i v smere opačnom, v smere aktivizácie systému, v smere klesajúcej entropie (8).

3.7. Entropia je mierou pravdepodobnosti. S klesajúcou entropiou, t. j. s rastúcou aktivitou otvoreného systému bude jeho rovnovážny stav stále menej pravdepodobným stavom. Je to v podstate teoretický stav, resp. môže sa uskutočniť iba lokálne, na krátky čas. Jeho existencia sa prejavuje iba tým, že vývoj otvoreného systému k nemu smeruje. Postrehneme ho ako tendenciu smerujúcu k vyrovnaníu importu a exportu, resp. k rovnomernému výdaju energie v systéme, t. j. k stavu, keď je splnený zákon kontinuity (17, 19, 20, 29, 30).

3.8. Z faktu, že vývoj otvoreného systému sa môže diať oboma smermi (3.6.), vyplýva ďalšia jeho charakteristická črta, ktorá ho odlišuje od zatvoreného systému. Je to princíp ekvifinality, ktorý pre otvorené systémy znie: „to isté finálne štádium možno dosiahnuť, vychádzajúc z rôznych iníciaľnych podmienok“ (8). Preto ak otvorený systém dosiahol finálne štádium — rovnovážny stav — je jeho história zmazaná (20). Nemožno určiť, ktorou cestou k nemu dospel.

3.9. Zmeny, ktorým systém podliehal, smerujúc k rovnovážnemu stavu, môžeme veľmi všeobecne a nevyčerpávajúco deliť na zmeny dvoch typov. Otvorený systém je vo vzťahu so svojim okolím. Zmeny okolia menia i systém (pozri 3.2.). Tieto zmeny nazveme primárnymi zmenami. Zmeny systému sa však odrážajú i v zmenách okolia (pozri 3.2.), a takto zmenené okolie môže znova ovplyvniť systém. Takýmito vzťahmi, spätnými väzbami, či štruktúrami typu feedback kontroluje, reguluje sám systém svoj vývoj (8, 19, 18). Tieto zmeny nazveme sekundárnymi (8, 19).

3.10. Na geomorfologické systémy, stráň, rieku a pod. sa možno dívať ako na otvorené, aj ako na zavreté systémy. Týmto dvom prístupom odpovedajú dve koncepcie, dve geomorfologické školy „historická“ a „dynamická“ (19, 20, 56). Obe koncepcie dochádzajú často k rôznym záverom, ktoré však nemožno považovať za protirečiacie si.

Na ten istý geomorfologický systém sa môžeme dívať ako na otvorený, aj ako na zatvorený. Záleží to na časovopriestorových dimenziách, ktorými geomorfologický systém definujeme, na jeho hraniciach (pozri 3.2., 3.4.). Vhodným pohybom týchto časovopriestorových dimenzií môžeme obe koncepcie zlúčiť. Raz môžeme študovaný systém definovať takými časovopriestorovými dimenziami, že bude zatvoreným systémom. Zmenou dimenzií sa stane systémom otvoreným a môžeme ho skúmať z tohto aspektu. Túto možnosť ukázali S. A. Schumm a R. W. Lichty (50).

V ďalšom texte si ohraničíme náš systém — stráň — rôznymi časovopriestorovými hranicami a v rámci takto definovaných systémov budeme sledovať zosuny, ich miesto, funkciu v systéme.

4. CYKLICKÝ SYSTÉM

4.1. Nadväzujúc na 3.10. budeme v tejto stati študovať náš systém — stráň — ako zatvorený systém. Musíme ho preto vymedziť „veľkým“ časovým úsekom. Je to doba od súčasnosti až po začiatok erózneho cyklu. Priestorové hranice tu nie sú dôležité. Môžeme daný systém sledovať v rámci celého bazénu, pohoria, alebo s rovnakým výsledkom i jednu jedinú stráň (porov. 50).

4.2. Tento systém môžeme charakterizovať systémom premenných. Nezávislými premennými sú čas, iniciálny reliéf, litologickoštruktúrne vlastnosti a klíma. Závislými premennými je tvar stráne (porov. 50).

4.3. Pod vplyvom nezávislých premenných bude tvar stráne podliehať celému radu nezvratných zmien. Konečným výsledkom je plochá, ďalej sa už nemeniaca krajina. Podľa R. J. Chorleyho (20) takto ponímal stráň a jej vývoj W. M. Davis (13). Penepén W. M. Davisa odpovedá entropii.

Podobne ako W. M. Davis chápe vývoj stráne aj S. Sobolev (53). Pediplén W. Pencka (41), L. C. Kinga (27) sa odlišuje od penepény genézou. Podobá sa mu však malou aktivitou procesov.

Spomínané práce možno priradiť (opierajúc sa, pravda, iba o ich spomínané črty) k historickej škole, ktorá hľadá odpoveď na otázku „čo sa stalo?“ Väčší dôraz kladie na štúdium foriem ako na štúdium procesov.

Skúma minulosť geomorfologických foriem, ich zmeny v čase (porov. 19, 20, 56).

4.4. Pre nás je dôležité, že stráň chápaná ako zatvorený systém referuje iba o nezvratných, cyklických zmenách jej tvaru, o veľmi všeobecných procesoch pediplanácie či neplenizácie. Nereferuje vôbec o zosunoch, či už ako forme, alebo procese. Tieto javy sú v tomto systéme nepostrehnuteľné.

5. DYNAMICKÝ SYSTÉM

5.1. Teraz vymedzíme náš systém inými časovopriestorovými hranicami, aby sme mohli postrehnúť tie jeho vlastnosti, tie jeho prvky a vzťahy medzi nimi, ktoré nám v predošlej stati unikali. Postavíme sa teraz na stanovisko druhej geomorfologickej školy, na stanovisko školy dynamickej. Budeme sledovať stráň v súčasnosti, snažiac sa odpovedať na otázku „čo sa deje?“ (56), abstrahujúc takmer od času sústredíme pozornosť hlavne na stráňové procesy.

Na geomorfologické javy sa dívajú podobne viacerí autori (6, 17, 19, 26, 30, 44, 51, 56).

5.2. Časové dimenzie tohto systému sú nepatrné. Čas tu takmer nehrá úlohu. I z hľadiska priestoru je tento systém značne úzko ohraničený. Nemožno naraz sledovať všetky stráne bazénu, pohoria, ale iba jednu jedinú stráň.

Čisto pre orientáciu mohla by to byť stráň o ploche 1—2 km², ktorú budeme sledovať v priebehu niekoľko málo rokov. Absolútne hodnoty nie sú rozhodujúce. Určujúca je ich relatívna hodnota, ich pomer k systému, definovanému väčšími či menšími časovopriestorovými dimenziami (pozri 50).

5.3. V takto vymedzenom systéme sa zmení i štruktúra jeho premenných. Čas i iniciálny reliéf sa stanú bezvýznamnými premennými. Nezávislými premennými sú lito-

lógia, štruktúra, plášť zvetralín, klíma a tvar stráne. Závislou premennou budú stráňové procesy (porov. 50).

5.4. Do nášho zorného poľa sa dostali všetky stráňové procesy. Každý takýto proces možno chápať ako proces fyzikálny, ako rôzne pohyby a premiestenia materiálu. Tieto pohyby sa odlišujú, varirujú. Charakter pohybu závisí od mechanických vlastností materiálu, ktorý je vystavený pôsobeniu gravitačnej sily. Geomorfologické procesy možno tak vysvetľovať pomocou princípov mechaniky zemín, či hydrodynamiky a pod. (56).

Pod vplyvom gravitačnej sily vzniká v materiáli napätie. Ak je toto napätie prekonané, dôjde k deformácii, k pohybu materiálu. Charakter deformácie závisí od mechanických vlastností materiálu, či presnejšie od ich vzťahu ku gravitačnej sile. Rozlišujeme tri druhy materiálov či deformácií. Je to elastický, plastický a tekutý materiál. Elastický je taký materiál, v ktorom napätie je proporcionálne sile. Ak sila prekoná napätie, dôjde k elastickej deformácii, k náhlemu zosadnutiu pozdĺž skrytej šmykovej plochy. Plastický materiál sa chová inak. Ak gravitačná sila prekročí určitý limit daný kohéziou a vnútorným trením materiálu, začne sa materiál pomaly pohybovať. K deformácii dochádza pozdĺž početných intragranulárnych či intramolekulárnych šmykov, ktoré sú rozložené v celej pohybujúcej sa hmote rovnomerne. Tekutý materiál (ideálna tekutina) sa stále pohybuje, pokiaľ naň pôsobí šmyková sila. Rýchlosť pohybu je priamoúmerná pôso-biacej sile (uvedené definície pozri v lit. 56).

Veľkosť gravitačnej sily určuje tvar stráne (presnejšie iba jej zložku, pôsobiacu rovno-bežne so stráňou, tangenciálu). Ostatné nezávislé premenné určujú mechanické vlastnosti materiálu, t. j. napätie v ňom. Tu sa treba zmieniť, že na napätie v materiáli vplyvajú i molekulárne či chemické sily (objemové zmeny, zamrzanie, rozpúšťanie a pod.).

5.5 Každý proces možno chápať na základe vzťahu gravitácie a napätia v materiáli. Otázkou je, či všetky procesy na tomto princípe i kauzálne vysvetlíme bez toho, aby sme zmenili štruktúru premenných nášho systému (5.3.).

5.6. Objemové zmeny môžu teoreticky pohybovať časticami vo všetkých smeroch. V praxi je menej možností. Častica ležiaca na stráni sa môže pohybovať po jej povrchu (ak stráň ponímame ako dvojrozmernú geometrickú plochu) vo všetkých smeroch od 0 do 360°. Môže sa však i dvíhať nad povrch stráne, a to pod uhlom 0—90°.

Ak k objemovým zmenám dôjde na stráni, tu k tomuto pohybu pridá gravitácia svoju zložku (tangenciálu). Výsledkom je pohyb častice dolu stráňou. Pohyb je plne deter-minovaný uvedenými dvoma faktormi, objemovou zmenou a gravitáciou. Jeden faktor — gravitácia — je daný sklonom stráne. Druhý faktor — objemové zmeny — má pomerne nevelký účinok, objemové zmeny sú rádu niekoľko mm, maximálne cm. Častica sa pohne iba na nevelkú vzdialenosť (49).

Gravitácia pôsobí na každej stráni. Objemové zmeny sú závislé od denného chodu počasia, teda prebiehajú tiež na každej stráni prakticky nepretržite. Uvedené pohyby sú preto v čase, ako aj v priestore všeobecné. Prebiehajú na každej stráni takmer neustále. Častice sa pri pohybe neorganizujú, sú to polozávislé všeobecné procesy. Gravitácia je tu daná tvarom stráne, vari práve preto tieto pohyby nevytvárajú výrazné formy, neovplyvňujú výrazne tvar strane (porov. 16). Procesy tohto druhu sa nazývajú zliezaním, creep (16, 26, 30, 32, 51) alebo Abwandern (37).

5.7. Opísaný proces prebieha na všetkých stráňach. Na veľmi strmých stráňach a skalných stenách prebieha najintenzívnejšie. Dostáva i nové črty. Pohyb sa niekedy deje aj vzduchom ako voľný pád. Princíp však ostáva nezmenený. Pohyb je vyvolaný iba priamym pôsobením gravitačnej sily tak ako v predošlom prípade. Je tiež rovnako v čase i v priestore (na strmých stráňach) všeobecným procesom. Nie je rozhodujúce, či sa na tomto princípe pohybuje väčší či menší objem materiálu. Ak sa uvoľní veľký objem materiálu, hovoríme o stržiach.

5.8. Od procesov zliezania a voľného pádu sa líšia procesy druhej grupy. Dôležitú úlohu pri týchto procesoch hrá voda. Materiál sa nepremiestuje prostredníctvom tečúcej vody. Pohyb je ešte stále vyvolaný iba priamym pôsobením gravitačnej sily. Voda tu však hrá dôležitú úlohu katalyzátora. Pohyb uľahčuje, urýchľuje. Pri nasýtení materiálu vodou klesne jeho kohézia i vnútorné trenie. Zároveň sa zväčší jeho váha. Gravitačná sila prevyšuje daný limit materiálu (5.4.). Dôjde k plastickému pohybu materiálu dolu stráňou.

Procesy tohto druhu sú bežné v periglaciálnych oblastiach. Pri dennom či sezónnom rozmŕzaní sa dolu stráňou pohybujú nevelké, vzájomne nesúvisiace jazyky, laloky, rozmočeného materiálu (44). Tieto procesy sa nazývajú soliflukciou (16, 26, 28, 30, 32, 34, 37, 44, 55, 56). Prudké dažde v niektorých oblastiach mierneho pásma vyvolajú podobné procesy. Nazývajú sa zlaziská (28, 38, 54) alebo Erdschlippe (58). Na podobnom princípe sa pohybujú i hlboké tropické zvetraliny po výdatných dažďoch. Našlo by sa vari i viac podobných, príbuzných javov.

Táto grupa procesov, ak ju porovnáme s predošlou (5.6., 5.7.), je menej všeobecná. Globálne sú v priestore a čase diskontinuitné. Vzťahujú sa iba na určité klimatické zóny. V rámci zóny sa však vyskytujú pravidelne, cyklicky a sú v priestore všeobecné. V rámci nášho dynamického systému ich môžeme považovať za procesy v čase i priestore kontinuítne.

5.9. Spomínané dve grupy procesov sú úplne determinované dvoma faktormi. Môžeme povedať, že majú málo stupňov slobody (4,5). Tieto procesy môžeme vyjadriť ako funkciu gravitácie a príslušných molekulárnych síl. Túto funkciu môžeme vari považovať i za kauzálny vzťah. Závislá premenná v čase i priestore sa vyskytuje v zhode s nezávislými premennými. Energeticky je im tiež úmerná.

V uvedenom vzťahu sám pohyb dolu stráňou vyvoláva iba gravitačná sila. Môžeme ho preto zjednodušiť, nahradiť gravitačnú silu tvarom stráne, t. j. premennou, na ktorej je gravitácia závislá. Dostaneme vzťah, že proces je funkciou tvaru ($P = f.F$, $P =$ proces, $F =$ tvar), teda vzťah typický pre náš systém (pozri 5.3.). Tieto procesy sú závislé od tvaru stráne, ktorý v uvažovanom krátkom čase nezmenia.

5.10. V tretej grupe procesov má voda ešte väčší význam. Okrem funkcie katalyzátora sa často už začína aktívne zúčastňovať na premiestovaní materiálu. Pohyby veľmi plastického až tekutého materiálu sa nazývajú murami (Muren 37, seli 47, mudflows 30, 44, 48).

Pohyby veľmi plastického materiálu nie sú tak všeobecnými procesmi ako predošlé dve grupy procesov. Vyskytujú sa iba v určitých špecifických podmienkach. Sú to rýchle pohyby, ktoré náhle vznikajú a náhle sa končia. Ich vplyv na tvar stráne je často evidentný. Nevzťahujú sa na celú stráň, ale je tu tendencia viazať sa na ryhy, depresie, výmole, často i na dná dolín. Plastický pohyb materiálu často bezprostredne nadväzuje na pohyb tekutého materiálu. Vytvárajú sa výmole, dolinky.

5.11. V štvrtej grupe procesov sa materiál premiestuje už prostredníctvom tečúcej vody. Ak voda tečie po stráni v tenkej, viac-menej kontinuítnej vrstvičke, hovoríme o splachu. Ten je teoreticky úplne iným procesom ako zliezanie. V praxi však prebiehajú takmer vždy súčasne. Ťažko ich oddeľovať. Splach v krátkom čase nezmení tvar stráne. Je funkciou tvaru a momentálnych zrážok.

Keď sa voda tečúca po stráni začína koncentrovať (ron), rastie i jej účinok na stráň. Vznikajú výmole, dolinky, a to často i v krátkom čase. Tento proces je často úzko spojený s murami (porov. 44). Patrí však už k fluviálnemu procesu. Nepatrí už do nášho systému.

5.12. V našom systéme sa však objavujú ešte i ďalšie procesy, vyvolané iba priamym pôsobením gravitačnej sily. Na pohybe sa zúčastňuje veľa častíc. Chovajú sa však ako

jeden celok, ovplyvňujú sa navzájom. Pohybujúci sa komplex častíc je ostrou hranicou oddelený od okolitých nepohyblivých častí stráne. Pohyb sa začína i končí sa vcelku náhle. Tieto procesy sú v čase i priestore — i v rámci dynamického systému — výrazne individualizované, vzťahujú sa iba na určitý moment, určitý úsek systému. Výsledkom týchto pohybov sú nápadné formy, ktoré často premodelujú od základu celú stráň. Tieto procesy i formy sa nazývajú zosunmi (pozri 1.2).

Aj k zosunom dôjde vtedy a tam, kde a kedy gravitácia prekoná napätie v materiáli. Situácia je však zložitejšia. Pohyby sa často dejú nie po stráni, ale po sklznej ploche, ktorá má iný tvar, iný sklon ako stráň. Nie je to teda tvar stráne, ktorý určuje gravitačnú silu. Pohyb nie je len účinkom tangenciály, prejavuje sa tu i druhá zložka gravitačnej sily, pôsobiaca kolmo na stráň, či nerozdelená gravitačná sila, pôsobiaca vo vertikálnom smere.

Pokles napätia môže vyvolať premačanie, rozmrzanie, objemové zmeny, teda tie isté faktory ako pri predchádzajúcich procesoch. I pri zosunoch by sme mohli tento vzťah vyjadriť funkciami. Tie však nemožno označiť za kauzálny vzťah ako v prípade zliezania, soliflukcie.

5.13. Nezávislé premenné určujúce mechanické vlastnosti materiálu, jeho napätie — litológia, štruktúra, plášť zvetralín, klíma — pôsobia v celom systéme neustále. Rovnako pôsobí i gravitácia. Zosuny však sú v systéme rozmiestené diskontinuitne, a to v čase, ako aj v priestore. Nezávislé premenné nášho systému nemôžu byť príčinami zosunu. Nie sú v čase a priestore rovnako rozmiestené. Nesplňa sa jedno z kauzálnych pravidiel „Kolko ráz nastane príčina, tolko ráz nastane i účinok“ (15).

V rámci nášho systému možno postrehnúť samotné zosuny, ich priebeh, ich fyzikálne charakteristiky. Nemožno ich však kauzálny vysvetliť. Musíme apelovať na „koncept pamäti“ stráne (4, 5). Musíme sa odvolávať na minulosť, na históriu stráne, uvažujúc tak vo väčších časových úsekoch, než aké prináležia dynamickému systému. Procesy tohto typu môžeme nazvať historickými.

5.14. Spomínané kauzálny pravidlo môžu splňať niektoré katastrofálne javy, ako napr. silný dážď, sústredený na malú plochu, alebo erózia toku na úpätí stráne. V tomto prípade však nebýva splnené iné kauzálny pravidlo. „Medzi príčinou a účinkom musí byť proporionalita“ (15). Energia dažďa, erózie, nie je spravidla úmerná energii zosunu. Tieto javy sú zasa vo funkčnom, no nie v kauzálnom vzťahu k zosunu.

5.15. Zosuny — procesy menia výrazne tvar stráne. Tvar stráne je funkciou procesu ($F = f.P$). Je to opačný vzťah ako pri zliezaní či soliflukcii. Závislá premenná — proces — sa stala nezávislou premennou a naopak, nezávislá premenná je závislou premennou. Zmenila sa nám štruktúra premenných, ktorými sme definovali dynamický systém (5.3.). Túto zmenu nemožno považovať za účinok zmeny okolia systému, spočíva skôr na spätnej väzbe, systém sa sám zmenil.

5.16. Záverom sa pokúsime zosuny definovať v rámci dynamického systému. Zosuny predstavujú také pohyby plastického alebo elastického materiálu po stráni, ktoré sú výrazne v čase i priestore diskontinuitné. Tieto procesy vytvárajú výrazné formy. Nemožno ich preto v rámci dynamického systému kauzálny vysvetliť. Sú vzhľadom na tento systém historickými procesmi. Pri zosunoch vzniká spätná väzba — feed back — zosuny ovplyvňujú tvar systému.

Klasifikácia opierajúca sa iba o fyzikálne princípy nie je v prípade zosunov úplná. Do úvahy treba vziať i rôzne formy spätnej väzby.

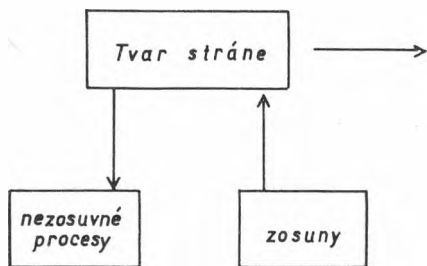
Pri iných pohyboch plastického a elastického materiálu, pri zliezaní, voľnom páde a soliflukcii, rovnako ako pri splachu niet spätnej väzby. Tieto procesy sú determinované nezávislými premennými systému. Nevytvárajú nové trvalé formy. Fyzikálna klasifikácia sa zdá úplne dostačujúcou.

Zosuny treba ohraničiť i voči procesom, ktoré sa nazývajú murami. Sú to pohyby veľmi plastického až tekutého materiálu. V niektorých prípadoch sa materiál opracúva a triedi podobne ako v rieke. Tieto procesy nepatria už ku gravitačným procesom, ale k procesom fluviaálnym. Inokedy to však tak nie je. Mury sa spravidla pohybujú po dnách dolín, iba ich začiatky sa viažu na stráne, na závery dolín. Väčšina tohto procesu teda neprebíha po stráni, ale po dne doliny, teda mimo nášho systému. Počiatočné štádiá múr však môžeme priradiť k zosunom.

Ešte treba vymedziť zosuny vzhľadom na strže, vznikajúce na strmých stráňach a skalných stenách. Ak sa pohyb z veľkej alebo väčšej časti deje vzduchom, potom tieto procesy označíme ako strže. Ak sa pohyb deje po skrytej sklznej ploche a nemá charakter voľného pádu, vtedy je to zosun.

Hranice medzi jednotlivými procesmi sú teoretické. V praxi je hranica medzi zosunami a ostatnými procesmi menej výrazná.

Štruktúru dynamického systému a miesto zosunu v ňom môžeme znázorniť schémou (obr. 1).



Obr. 1.

6. ROVNOVÁŽNY SYSTÉM

6.1. Cyklický systém nás o zosunoch neinformoval. V dynamickom systéme sa ukázali ako historické procesy, odkazujúce na väčšie časové úseky. To nás priamo nabáda definovať ďalší systém. Systém, ktorý by obsahoval jednak črty oboch predošlých systémov, jednak črty jemu vlastné. Nazveme ho rovnovážnym systémom.

Dynamický systém bol otvoreným systémom. Bol aktívny, no nevyvíjal sa, lebo stál mimo času. Rovnovážny systém musíme de-

finovať tak, aby čas prestal byť bezvýznamnou premennou. Definujeme ho už určitým časovým úsekom, takže dynamický systém v ňom bude obsiahnutý.

Vývoj, zmeny cyklického systému mali nezvratný priebeh. Systém sa vyvíjal iba jedným smerom, smerom k maximálnej entropii. Bol to zatvorený systém. Rovnovážny systém definujeme tak, aby v ňom bol obsiahnutý jednak vývoj k maximálnej entropii, jednak vývoj opačný. Priebeh zmien v takomto systéme bude mať zvrtný charakter. Rovnovážny systém bude otvoreným systémom, ktorý v sebe ako jednu z možností bude obsahovať uzavretý cyklický systém (3.6). Rovnovážny systém je definovaný takým časovým úsekom, aby obsiahol ako časť časový úsek cyklického systému. Časovopriestorové dimenzie rovnovážneho systému nie sú obmedzené.

6.2. Nezávislými premennými v rovnovážnom systéme budú čas, litológia a štruktúra, klíma. Zložitejší je problém tvaru a procesu. Tu, ako už naznačil dynamický systém, sa budú striedať dva vzťahy. Raz bude nezávislou premennou tvar, inokedy proces.

6.3. Spomínanou (6.1) zmenou časových dimenzií systému došlo k niektorým závažným novým vzťahom. Procesy zliezania soliflukcie, splachu boli v dynamickom systéme závislé od tvaru stráne. Ak však pôsobia dlhší čas, môžu zmeniť tento tvar. Nie je to však náhla zmena tvaru, ako to bolo pri zosunoch. Zmena je pozvoľná a tvar nestráca svoj vplyv. Je to vzájomné prispôsobovanie sa tvaru i procesu. Platia súčasne obe funkcie. Proces je funkciou tvaru a zároveň tvar je funkciou procesu ($P = f.F$ a $F = f.P$).

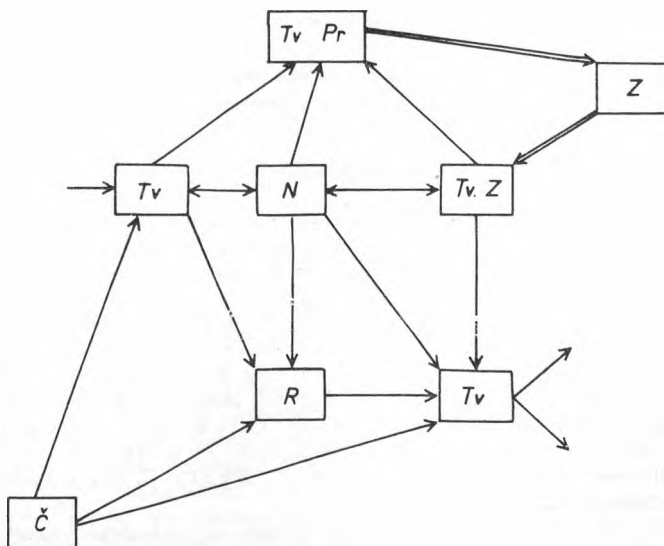
Tieto procesy sú v čase i priestore všeobecné. Už v dynamickom systéme vynikla táto ich črta, akýsi trend pôsobí v celom priestore systému, nesústredovať sa na jeho časti. Až v rovnovážnom systéme sa ukáže zmysel tohto trendu. Až tu možno sledovať vzájomné prispôsobovanie sa procesu a tvaru systému, smerovanie k rovnovážnemu stavu, v ktorom výdaj energie je v celom systéme rovnomerne rozložený.

6.4. Zmenou časových dimenzií sa objavujú aj črty typického otvoreného systému v podobe dlhodobých zmien v energetickej bilancii. V rovnovážnom systéme sa prejaviť budú smerovanie k entropii, alebo smerovanie k aktivizácii systému. Tieto zmeny nepostrehneme však bezprostredne. Bezprostredne postrehneme iba tendenciu, smerujúcu k rovnovážnemu stavu (6.3.). Dlhodobé zmeny v energetickej bilancii systému však znemožňujú dosiahnuť tento stav. Rovnovážny systém sa bude vyvíjať k určitému rovnovážnemu stavu, ktorý sa však spravidla zmení skôr, ako ho systém dosiahne (3.7.).

6.5. Chovanie rovnovážneho systému môžeme charakterizovať ako ustavičné smerovanie k teoretickému rovnovážnemu stavu, v ktorom je výdaj energie, materiálu rovnomerne v systéme rozložený. Takou je napr. stráň, ktorá ustupuje, nemeniac svoj tvar (50). Z každého jej bodu je odnesené rovnaké množstvo materiálu.

Skutočný stav systému je však vždy v určitej miere vzdialený od rovnovážneho stavu. Z určitých častí systému je odnášané viac či menej materiálu ako z iných častí. Sú to úseky relatívnej erózie či akumulácie. Veľkosť tejto relatívnej erózie, akumulácie, resp. objemu odneseného či prineseného materiálu predstavuje mieru nevyváženosti systému.

6.6. Akým spôsobom systém smeruje k rovnovážnemu stavu? Medzi tvarom a procesom dochádza k interakcii, k vzájomnému ovplyvňovaniu. Platia obe funkcie, tvar je funkciou procesu a proces funkciou tvaru ($F = f_1 \cdot P$ a $P = f_2 \cdot T$). Vývoj sa môže diať dvoma smermi. Vzájomný vplyv tvaru a procesu sa bude vyrovnávať. V rovno-



Obr. 2. T_v — tvar stráne vzdialenej v určitej miere od rovnovážneho stavu, $T_v Pr$ — tvar stráne maximálne vzdialenej od rovnovážneho stavu, $T_v Z$ — tvar zosunutej stráne — zosun ako forma, R — stráň v rovnovážnom stave, N — nezosuvné procesy, procesy v čase a priestore kontinuítne, Z — zosun ako proces, proces v čase a priestore diskontinuitný, \check{C} — čas.

vážnom stave by bol rovnaký $f_1 = f_2 = 1$. Môže však nastať i pohyb v opačnom smere. Rozdiel medzi funkciou f_1 a f_2 bude rásť. Porastie až po určitý prah, v ktorom už nebudú platiť obe funkcie súčasne. Bude platiť iba jediná z nich.

Prah predstavuje určitý tvar, či presnejšie, stav systému, v ktorom miera nevyváženosti (6.5.) je maximálna. Je to systém, časť systému, ktorá je silne relatívne erodovaná, či akumulovaná (geometrický tvar takejto stráne môže byť veľmi rôznych). V tom momente, keď vznikne prah a po celý čas, pokiaľ trvá, platí iba vzťah, že proces je funkciou tvaru ($P = f.F$). Vzniká zosun. Počas tohto procesu sa funkčný vzťah mení, no stále platí iba jediná funkcia, tvar je funkciou procesu ($F = f.P$). Zosun — proces určuje tvar stráne, t. j. zosun ako formu. Zosun — forma sa už vyvíja interferenciou vplyvu procesov a tvaru, platia už obe funkcie súčasne.

Štruktúru rovnovážneho systému môžeme znázorniť schémou (pozri obr. 2 a vysvetlivky). Dvojitá šipka na obr. 2 označuje „prahové väzby“, v ktorých platí iba jediná funkcia. Ak dôjde k týmto väzbám, celý systém sa redukuje iba na tri zložky, spojené touto väzbou.

Zosun v rovnovážnom systéme predstavuje protipól rovnovážneho stavu (17). Vzniká iba tam a iba vtedy, ak proces a tvar sú spojené iba jednosmerným funkčným vzťahom. Táto prahová situácia nie je bežná, preto i zosuny sa vyskytujú v čase a priestore diskontinuítne. Prahový stav, stojac v opozícii rovnovážnemu stavu, nie je od času nezávislý. Nepredstavuje stav, ku ktorému vývoj stráne neustále smeruje, snažiac sa stabilizovať v ňom. Prahový stav je akýmsi zvrátnym bodom. Stráň, ak dosiahla tento stav, nevyhnutne sa vyvíja opačným smerom, t. j. k rovnovážnemu stavu, zosunie sa. Zosun obnovuje porušený dvojsmerný vzťah medzi procesom a tvarom.

6.7. Záverom je dôležité ešte spomenúť, že prahový stav má viacero variantov. Sú tu dve možnosti jednosmerného funkčného vzťahu ($P = f.F$ alebo $F = f.P$). Zosun ďalej môže vzniknúť jednak na stráni, kde prevláda relatívna erózia, jednak na stráni, kde dochádza k relatívnej akumulácii. Vzhľadom na konkrétnu stráň existujú dva možné rovnovážne stavy podľa toho, či stráň smeruje k aktívnejšiemu, či k pasívnejšiemu rovnovážnemu stavu. Súdime, že uvedené závery môžu poslúžiť ako východisko pri klasifikácii zosunov. Samotná klasifikácia bude predmetom ďalšej štúdie.

LITERATÚRA

1. Ackermann E., *Der Abtragungsmechanismus bei Massenverlagerungen an der Wellenkalk — Schichtstufe*. Zeitschrift für Geomorphologie, Band 3, Heft 3—4, 1959. — 2. Andrusov D., *Carte geologique de la zone des klippees de la vallée de l'Orava 1:25 000*. Knihovna SGÚ 13 B, Pril. k sv. 13 A, Praha 1931. — 3. Andrusov D., *Poznámky o sesuvech v povodí Oravy na Slovensku*. Věstník SGÚ VII, Praha 1931. — 4. Ashby W. R., *General systems theory as a new discipline*. General Systems Yearbook (Ann. Arbor, Mich.) v. 3, 1958. — 5. Ashby W. R., *Kybernetika*, Praha. — 6. Bauling H., *Essais de géomorphologie*, Paris 1950. — 7. Berry B. J. L., *Approaches to Regional Analysis: A Synthesis*. Ann. of the Assoc. of Am. Geogr. vol. 54, 1964. — 8. Von Bertalanffy L., *General system theory*. General Systems Yearbook (Ann. Arbor, Mich.) v. 1, 1956. — 9. Beaty C. B., *Slope retreat by gullying*. Bull. Geol. Soc. Amer. 70, 1959. — 10. Beaty C. B., *Landslides and slope exposure*. Journ. Geology vol. 6, No. 1, 1956.

11. Boukal V., Fajst M., Šimůnek P., *Sesuvy na východních svazích Kremnického pohoří západně od Banské Bystrice*. Věstník ÚÚG XII, č. 4, 1966. — 12. Cotton C. A., *The erosional grading of convex and concave slopes*. Geogr. J. 118, 2, 1952. — 13. Davis W. M., *Geographical essays*. Boston 1909. — 14. Drdoš J., *Morfológia kryhového zosunu Jezersko v Spišskej Magure*. Geograf. čas. XIII, 1961. — 15. Filkorn V., *Úvod do metodologie vied*. Bratislava 1960. — 16. Finch V. C., Trewartha G. T., Robinson A. H.,

Hammond E., *Elements of Geography*. McGraw-Hill 1957. — 17. Hack J. T., *Geomorphology of the Shenandoah Valley*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 484, 1965. — 18. Hall A. D., Fagen R. E., *Definition of Systems*. General Systems Yearbook (Ann. Arbor, Mich.) v. 1, 1956. — 19. Howard A. D., *Geomorph. systems — Equilibrium and dynamics*. Amer. J. Sci., Nr. 4, 1965. — 20. Chorley R. J., *Geomorphology and general systems theory*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 500-B, 1962.

21. Chorley R. J., *Geography and Analogue Theory*. Ann. of the Assoc. of Am. Geogr. vol. 54, 1964. — 22. Jemeljanova E. P., *O vplyvaní vysooty, krutizni i ekspozicii sklonov na opolzneviye procesy*. Bjul. Mosk. ova ispyt. prirody otd. geol. t. vyp. 3, 1959. — 23. Jemeljanova E. P., *O periodičnosti opolznevyh procesov*. Razvedka i ochrana neдр. Nr. 6, 1959. — 24. Jemeljanova E. P., *O pričínach i faktorach opolznevyh procesov*. Voprosy gidrogeologii i inžinernoj geologii, 1953. — 25. Kayser B., *Recherches sur les sols et l'erosion en Italie méridionale*. Lucanie, Paris 1958. — 26. King A. M., *Techniques in Geomorphology*, London 1966. — 27. King L. C., *Canons of landscape evolution*. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 64, Nr. 7, 1953. — 28. Klimaszewski M., *Geomorfologia ogólna*. Warszawa 1961. — 29. Langbein W. B., Leopold L. B., *Quasi-Equilibrium States in Channel Morphology*. Am. Jour. Sc., No. 6, 1964. — 30. Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P., *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco 1964.

31. Leško B., *Vývin východoslovenských jazier*. Geograf. čas. VI, č. 3–4, 1954. — 32. Lobeck A. K., *Geomorphology*. McGraw-Hill 1939. — 33. Lukniš M., *Zosuvné územie na ľavom brehu Váhu medzi Hlohovcom a Šintavou*. Zemeisný zborník SAV, roč. III, 1951. — 34. Lukniš M., *Všeobecná geomorfológia, I. časť*. Bratislava 1954. — 35. Matula M., Pikna V., Modlitba I., *K rozvoju zosuvných procesov v Západných Karpatoch*. Acta geologica et geographica universitatis comenianae, geol. 10, 1965. — 36. Matula M., Nemčok A., Pašek J., Řepka L., Špůrek M., *Sesuvná území ČSSR*. Souhrnná závěrečná zpráva. — 37. Maull O., *Handbuch der Geomorphologie*. Wien 1958. — 38. Mazúr E., *Žilinská kotlina a prilahlé pohoria*. Bratislava 1963. — 39. Mazúr E., *Príspevok k geomorfológii povodia Studeného potoka*. Geograf. čas. VI, 1, 1954. — 40. Nemčok A., *Vývoj zosuvných území na rozhraniach geologických útvarov*. Sborník geologických vied, Řad HIG, sv. 5, 1966.

41. Penck W., *Die morphologische Analyse*. Stuttgart 1924. — 42. Penta F., *Sulla casistica delle frane interessanti l'ingenera*. La ricerca scientifica, 1959. — 43. Popov I. V., *Inžinernaja geologija*, Moskva 1959. — 44. Rapp A., *Recent development of mountain slopes in Karkevagge and surroundings in North Scandinavia*. Geogr. Ann. 42, 1960. — 45. Řepka L., *Proudový sesun u Riečnice*. Geologický průzkum I, 1963. — 46. Řepka L., *Závěrečná zpráva o výzkumu sesuvných území v rámci vládního úkolu „Sesuvná území ČSSR“, část Levočské pohorie, Ľubovnianska vrchovina, Vysoké a Belanské Tatry a Popradská kotlina*. Geofond Bratislava. — 47. *Seli v SSSR i mery borbi s nimi*. Moskva 1964. — 48. Sharp R. P., Nobles L. H., *Mudflow of 1914 at Wrightwood Southern California*. Geol. Soc. Am. Bull. 64, 1953. — 49. Scheidegger A. E., *Teoretická geomorfologija*. Moskva 1964. — 50. Schumm S. A., Lichty R. W., *Time space and causality in geomorphology*. Amer. J. Sci. 263, Nr. 2, 1965.

51. Schumm S. A., *The role of creep and rainwash on the retreat of badlands slopes*. Am. Journ. Sci., v. 254, 1956. — 52. *Smernice pre úlohu „Sesuvná území v ČSSR“*. Geofond Bratislava. — 53. Sobolev S., *Razvitije eroziionnyh procesov na teritorii jevropeskoj časti SSSR i borba s nimi*. Moskva—Leningrad 1948. — 54. Starkel L., *Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie*. Warszawa 1960. — 55. Strahler N. A., *Physical geography*. London 1961. — 56. Strahler A. N., *Dynamic basis of Geomorphology*. Bull. Soc. Geol. Am. 63, 1952. — 57. Terzaghi K., *Teoria mechaniki gruntov*. Moskva 1961. — 58. Uhlmann R., *Abtragungs- und Verwitterungsformen in Ligurisch-Emilianischen Apennin*. Geogr. helv. 1964, 19, Nr. 4, 1964. — 59. Vaškovský I., *Niektoré poznatky o podmienkach a pričínach vývoja zosunov na zosuvnom svahu juhovýchodne od Handlovej*. Geogr. čas., č. 1, 1962. — 60. Young A., *Soil movement by denudational processes on slopes*. Nature 188 (4745), 1960.

61. Záruba Q., *Sesuvy v neogénnych uloženinách na severním okraji Turčianské kotliny*.

Věstník ÚÚG XXIX, 1954. — 62. Záruba Q., *O sesouvání půdy v Československé republice*. Československá Vlastivěda I., Praha 1929. — 63. Záruba Q., Ložek V., *Skalním zřícením hrazené jezero v údolí Blatné u Lubochně*. Věstník ÚÚG XLI, č. 5, 1966. — 64. Záruba Q., Mencl V., *Inženýrská geologie*. Praha 1957. — 65. Heim A., *Bergsturz und Menschenleben*. Vierteljahrschrift d. Nat.forsch. Gesellschaft Zürich 77, 1932.

Recenzoval E. Mazúr

J. Urbánek

SLIDES AND SYSTEM THEORY

1. INTRODUCTION

1.1 The subject of this paper is slide, namely from the point of view of their classification. Slide has been studied as geomorphological processes as well as geomorphological forms. This Institute is working on the task „The Geomorphological Regionalization of the ČSSR“. Within this task also the regions of slide areas in Slovakia should be laid out. This is, however, difficult even almost impossible without a suitable classification.

1.2 To the term „slides“ in the sense as it is used by us several names correspond as a rule in the sense as conceived by V. C. Finch (16). In the German literature the term „Rutschungen“ well as forms named landslides, some processes and forms named earthflows and perhaps even some mudflows are included. As the nearest to our term of slides are „rapid mass movement“ in the sense as conceived by V. C. Finch (16). In the German literature the term „Rutschungen“ (37) corresponds to them.

The problem of slides and their classification has been taken up in many papers (1, 16, 18, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 42, 43, 44, 55, 58, 64). These classifications are based on various criteria. It is difficult to compare the individual classifications. They represent a very heterogeneous material.

1.3 This fact has compelled us to search for new ways, to approach to the problem in a non-traditional way. Let us try to solve the given problem on the basis of a system based on the General Systems Theory (4, 8, 18, 20). Von Bertalanffy (8, p. 3) defines systems as „sets of elements standing in interaction“. A. D. Hall and R. E. Fagen (18, p. 18) define the system as follows: „A system is a set of objects together with relationships between the objects and between their attributes“. Their definition of environment of the system (18, p. 20) is as follows: „For a given system, the environment is a set of all objects a change in whose attributes affect the system and also those objects whose attributes are changed by the behaviour of the system.“ The problem of boundary between the system and its environment emerges quite naturally. „Ultimately it depends on the intentions of the one who is studying the particular universe as to which of the possible configurations of objects is to be taken as the system“ (18, p. 20).

1.4 Von Bertalanffy (8) divides general systems into two basic types, into two system models. The first system model is the closed system. It is a system which is isolated against the environment. From this environment it does not take in energy, mass and it does not give it off either. Its development tends to such a kind of equilibrium which accessible free energy will attain minimum and entropy maximum in. In the state of entropy energy becomes unable to exert labour. Entropy is probability measure. This final stage is fully determined by initial conditions (see 8, 20, 56).

The second system model is the open system. The open system requires energy to its existence. It changes energy, material with its environment incessantly. To the open system energy is imported from the environment, but at the same time it is also exported from the system to the environment. The open system regulates its form so that import and export of energy may be equal. Such a system is in the state of equilibrium. The open system in the

state of equilibrium remains active. It changes energy with its environment. Thus it strongly contrasts with the state of equilibration of the closed system, with entropy (see 8, 20, 56).

The open system can develop in two directions. It can tend to the maximum entropy, nevertheless it can develop even in the contrary direction, in the direction of system activation (see 8).

Also the open system can attain the state of the maximum entropy. The system in this state can be considered as a variant of the open system, as the case that import and export are equal to zero in. Thus the conception of the open system includes in itself the conception of the closed system (see 20).

Entropy is probability measure. With decreasing entropy, i. e. with increasing activity of the open system its state of equilibrium will be a less probable state more and more. It is in substance a theoretical state. Its existence is shown only in the fact that the development of the open system tends to it. We perceive it as tendency to the equalization of import and export respectively to a uniform release of energy in the whole system (17, 19, 20, 29, 30).

1.5 Several authors tried to apply the theory of general systems to geomorphological problems. J. R. Chorley (20) suggests this possibility writing "... the interpretation of a given body of information depends as much upon the character of the model adopted as upon any inherent quality of the data itself".

Of the same geomorphological phenomenon or geomorphological system, river, slope, it can be taken a view like of the open as well as closed system (20, 56). The given system is characterized in the first case by other properties than in the second. The differences depend upon the time and space dimensions that the given system has been defined by. Investigating geomorphological systems this method was used by S. A. Schumm and R. W. Lichty (50). In the further passages a method like that is applied. The system is a slope. „Hillslopes are the part of the landscape included between the crest of hills and their drainage lines“ (30, p. 333). Let us bound a concrete geomorphological system by such time-space limits so that it may behave as a closed one. Afterwards the timespace limits will be changed so that the slope may behave as an open system. Within these systems let us investigate slide as a member of these systems, its place and its function in them.

1.6 The presented study takes up a new complex problem. Therefore the author does not lay claim to its full solution. He wants only to outline a new approach to geomorphological problems, namely on an example of slide. He raises more than solves the problem.

2. CYCLIC SYSTEM

2.1 Referring to the previous passage (1.5) let us now investigate our system — the slope — as a closed system. We have to delimit it by such a long time segment so that we may perceive the development, the history of the slope, so that we may meet with response to the question of historical geography „What happened?“ It implies the time segment from the beginning of the erosion cycle until the present (50).

2.2 By R. J. Chorley it is M. W. Davis who conceives the development of slope in this way (13). His peneplain corresponds to entropy. The slope conceived in this way refers only to the inevitable changes in its shape. It does not refer to slide whether as a form or a process.

3. DYNAMIC SYSTEM

3.1 Now let us delimit the slope by other limits in time and space. Let us take the standpoint of dynamic geomorphology. We shall follow the slope in the present trying to response to the question „What happens?“ (56) and abstracting fully from time we shall give attention mainly to the slope processes. Even from the point of view of space this system is considerably reduced. It is not possible to trace all the slopes of the basin but one only (see 50).

3.2 Time is an irrelevant variable in this system. Independent variables are lithology, structure,

mantle of waste, climate and shape of slope. Dependent variable is the slope processes (compare 50).

3.3 To the first group of mass movement belong creep, solifluction and related processes. They are processes continuous in time and space. Creep occurs on all slopes even almost incessantly. Solifluction and related processes (Erdschlippe 48, zlaziská 28, 38, 54) depend on a sufficient amount of water, thus on a climatic zone. Within the zone they are, however, general processes. In the framework of the dynamic system these processes do not change the shape of slope. Gravitation, which causes the movement, is given by gradient of slope. These processes are a function in the form $P = f.F$ ($P =$ process, $F =$ shape, form).

3.4 In our system appear also further processes caused by a direct action of gravitation force. In the movement a great number of particles take part. These ones behave, however, like a whole, influencing one another. The moving complex of particles is sharp separated from the neighbouring immovable particles of slope. The movement begins and ends suddenly, in general. These processes are in time as well as in space — even within the dynamic system — expressively individualized. They refer to a moment, to a certain section of the system. As a result of these movements is striking forms, which often remodel all the slope. They are called slides.

3.5 The independent variables determining mechanical properties of material, its tension — lithology, structure, mantle of waste, climate — act incessantly in the whole system. Gravitation acts similarly as well. The slides are, however, distributed discontinuously in the system both in time and space as well. The independent variables of our system cannot be causes of slide. They are not equally distributed in time and space. One of the causal axioms „as many times the cause arises, as many times the effect does“ (see 15) is not fulfilled.

In the framework of our system the slides proper, their course and their physical features may be perceived. They cannot be, however causally explained. We have to appeal „to the conception of slope memory“ (the conception of memory see 4, 5). We have to appeal to the past, to the history of slope, considering in this way longer time segments than those belonging to the dynamic system. The processes of this type can be named historical ones.

3.6 Slides as processes remodel expressively the shape of slope. The shape is a function of these processes ($F = f.P$). The dependent variable — the process — turned to an independent variable and on the contrary, the independent variable, the shape, is a dependent variable. The structure of the variables that we defined the dynamic system by have changed (3.2).

3.7 Closing we are trying to define the slides in the framework of the dynamic system. The slides represent such movements of plastic or elastic material along the slope that are expressively discontinuous in time and space. These processes create expressive forms. Therefore they cannot be explained within the dynamic system. Regarding the system they are historical ones. At slide a feedback arises — the slides influence the shape of the system. The other mass movements are a negation of slides. To the slides belong also some mud flows (Muren), especially their initial stages. These processes make a transition to the fluvial processes.

4. SYSTEM OF EQUILIBRIUM

4.1 Let us define now the slope as the open system. We name it equilibrium one. It will be a system whose development can develop in two directions, either to entropy or even to activation (see 1.4). Thus the system of equilibrium will include in itself the cyclic, closed system as one of the potential variants (1.4). Its changes will not have an inevitable course. The time-spatial limits in the system of equilibrium are not limited. Therefore it is natural that in this system is included not only the cyclic but also the dynamic system.

4.2 In the system of equilibrium the independent variables will be time, lithology, structure and climate. The problem of shape and process is more complicated. Here, as the dynamic system implied it, two relations will alternate. Once the independent variable will be the shape, another time the process.

4.3 By changing the time dimensions as above mentioned some relevant new relations arise. In the dynamic system, creep and solifluction were dependent on the shape of slope, but if they

act during a considerable time, they can change this shape. It is, however, no sudden change of shape as it was at slides. The change is slow and the shape does not lose its influence. It is a mutual adaptation of the shape and the process. Both the functions $P = f.F$ and $F = f.P$ hold good simultaneously.

4.4 With the change in the time dimensions also the features of the typical open system appear, namely in the form of long-termed changes in its power balance. In the system of equilibrium either tendency to entropy or to activation of the system will show. The system of equilibrium will develop to a certain state of equilibrium, which changes, however, as a rule, before the system attains it (1.4).

4.5 Between the shape and process a mutual influencing arises. $F = f.P$ as well as $P = f.F$ hold good. Both the functions need not be equal, i.e. $f_1 \neq f_2$. The evolution can develop in two directions. The mutual influence between the shape and the process will equalize. In the state of equilibrium it would be equal ($f_1 = f_2 = 1$). Also in a contrary direction, however, a motion can arise. The difference between the functions f_1 and f_2 will increase. It will increase as far as a certain threshold in which both the functions will not hold good simultaneously more. Only one of them will hold good. At the moment, when the threshold appears and for the whole period while it persists, the relation $P = f.F$ holds good only. A slide appears. During this process the functional relation changes, but the only function $F = f.P$ holds good. The structure of the system of equilibrium can be demonstrated in a schema (see the fig. 2).

Tv — shape of the slope distant to a certain measure from the state of equilibrium

TvPr — shape of the slope at the very utmost distant from the state of equilibrium

TvZ — shape of a slid slope; slide as a form

R — slope in the state of equilibrium

N — not-sliding processes, the processes continuous in time and space

Z — slide as a process, the processes discontinuous in time and space

Č — time

4.6 The slide in the system of equilibrium represents something like a counter-pole of the state of equilibrium. It arises only there and only then, if the process and the shape of slope are connected in a unidirectional functional relation. The slide renews the interrupted bidirectional functional relation between the process and the shape. The knowledge gained within this paper may, perhaps, serve as a starting point at the classification of slides. The classification proper will be the subject of a next paper.*

From the Slovak translated by A. Krajčír

* The author wishes to express sincere thanks to Doc. Dr. E. Mazúr, DrSc., for his help and guidance.