

## Wiaczesław Andrejczuk

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; e-mail: geo@wnoz.us.edu.pl

### KRAJOBRAZ KRASOWY JAKO SYSTEM

Андрейчук В. **Карстовый ландшафт как система.** Карстовые ландшафты весьма специфичны с точки зрения черт своей природы: геологического основания, рельефа, циркуляции вод, растительного покрова и почв. Эта специфика проистекает из наличия в ландшафте „нижнего подземного яруса“ в виде сети каналов, пустот и пещер, тесно связанного с наземной частью ландшафта. Статья анализирует карстовый ландшафт как бинарную геосистему, состоящую из двух подсистем: наземной и подземной. Взаимодействия между этими двумя подсистемами (материально-энергетический обмен) составляют сущность функционирования карстового ландшафта и ответственны за формирование его эволюционно-динамических особенностей и физиономию.

Andrejczuk W. **Karst landscape as system.** Karst landscapes are very specific in terms of its natural characteristics: geology, relief, water circulation, vegetation and soils. The specificity is due to the presence in the landscape of "lower underground floor" in form of a network of canals, cavities and caves, closely associated with the terrestrial part of the landscape. The article analyzes the karst landscape as a binary geosystem, consisting of two subsystems: surface and underground. Interactions between two subsystems (exchange of material and energy) are the essence of functioning of karst landscape and are "responsible" for formation of its dynamic-evolutionary peculiarities and physiognomy.

**Słowa kluczowe:** krajobraz, kras, ujęcie systemowe, geokompleks, geosystem

**Ключевые слова:** ландшафт, карст, системный подход, геоконплекс, геосистема

**Key words:** landscape, karst, systemic approach, geocomplex, geosystem

#### Zarys treści

Krajobrazy krasowe są bardzo specyficzne pod względem cech swojej natury: podłoża geologicznego, rzeźby, obiegu wody, szaty roślinnej i gleb. Specyfika ta wynika z obecności w krajobrazie „dolnego piętra podziemnego” w postaci sieci kanałów, próżni i jaskiń, ściśle związanego z nadziemną częścią krajobrazu. Artykuł analizuje krajobraz krasowy jako geosystem binarny, składający się z dwóch podsystemów: nadziemnego i podziemnego. Interakcje pomiędzy tymi dwoma podsystemami (wymiana materii i energii) stanowią istotę funkcjonowania krajobrazu krasowego i są „odpowiedzialne” za kształtowanie jego osobliwości dynamiczno-ewolucyjnych oraz fizjonomii.

#### WSTĘP

Obszary krasowe (krajobrazy krasowe) cechują się bardzo dużą specyfiką. Różnią się one od innych obszarów charakterystyczną rzeźbą stanowiącą odrębny typ genetyczny, szczególnym reżimem wodnym i siecią hydrograficzną (lub jej brakiem), swoistymi rodzajami gleb (np. rędziny), ekosystemami o odmiennym składzie gatunkowym flory i fauny, a także o swo-

istym charakterze morfologicznych i fizjologicznych przystosowań organizmów do specyficznych (krasowych, jaskiniowych) warunków środowiskowych.

Wyraźnie zaznaczająca się odmienność obszarów krasowych związana jest ze szczególnym procesem zachodzącym w skorupie ziemskiej i na jej powierzchni – rozpuszczaniem przez krążące wody określonej grupy podatnych na to zjawisko skał (tzw. skał krasowiejących). Proces ten w swojej istocie ma naturę hydrologiczną (hydrogeologiczną), ponieważ dotyczy oddziaływania wód na skały i zachodzi głównie pod powierzchnią terenu. W miarę hydrologicznego „dojrzewania” masywu skalnego, proces rozpuszczania stopniowo (ewolucyjnie) przekształca się w *proces krasowy*, który – z kolei – „powołuje do życia” szereg innych towarzyszących i pochodnych procesów (erozja, zapadanie się powierzchni terenu, obwały, osuwiska itp.), stając się *systemem procesów*. Działając wspólnie pod i na powierzchni terenu, procesy te kształtują rzeźbę, a co za tym idzie – cały krajobraz, którego komponenty, zarówno abiotyczne (skały, wody, powietrze), jak i biotyczne (rośliny, zwierzęta) czy antropogeniczne, wzajemnie dostosowując się do siebie, tworzą specyficzny i złożony system środowiskowy – **k r a j o b r a z k r a s o w y** (KK).

System ten (geosystem krasowy) cechuje swoista organizacja wynikająca z ewolucji samego procesu, polegającego na *samoorganizacji* (stopniowy rozwój sieci kanałów, formowanie się próżni podziemnych itd.). Skutkiem (jak zresztą i przyczyną – na późniejszych etapach rozwoju) ewolucyjnej samoorganizacji jest wykształcenie specyficznej przestrzennej i funkcjonalnej struktury systemu krasowego (powiązań i wzajemnych oddziaływań elementów), stanowiącej istotę jego organizacji w dojrzałych stadiach rozwoju.

Specyfika krajobrazu krasowego w sposób najbardziej szczegółowy może być wyjaśniona i pokazana za pomocą paradygmatu systemowego. Wiąże się to z przedstawieniem KK jako złożonego systemu przyrodniczego o charakterystycznym składzie budujących go elementów, ich specyficznym ułożeniu przestrzennym (strukturze) i sposobie wzajemnego oddziaływania (funkcjonowania).

## STRUKTURA KRAJOBRAZU KRASOWEGO JAKO SYSTEMU

Krajobraz krasowy (KK) cechuje się obecnością nietypowego dla zdecydowanej większości innych krajobrazów fenomenu: dużych podziemnych kanałów i próżni, w tym jaskiń<sup>1</sup>. W trakcie ewolucji systemu krasowego elementy te przekształcają się we względnie autonomiczne – z fizjonomicznego, przestrzennego oraz funkcjonalnego punktu widzenia – twory przyrodnicze – geokompleksy podziemne (ekosystemy itp.)<sup>2</sup>.

Część podziemna KK jest ściśle związana z nadziemną. Są one dwiema sprzężonymi funkcjonalnie i genetycznie częściami jednego krajobrazu krasowego i stanowią najważniejszą osobliwość jego strukturalnej organizacji. Nawiązując do systemowej metodologii czy terminologii, część nadziemną i podziemną KK należy uważać za jego główne podsystemy strukturalne. Sprzężone funkcjonowanie w geosystemie krajobrazu krasowego dwóch podsystemów (nadziemnego i podziemnego) determinuje najważniejsze właściwości całego krajobrazu.

Krajobrazy krasowe cechują się swoistą przestrzenną rozwojową. W związku z obecnością jaskiń, niekiedy bardzo głębokich (1–2 km i więcej), za których

pomocą czynniki powierzchniowe (woda, tlen, osady, organika, mikroorganizmy itp.) przenikają w głąb Ziemi, dolna granica KK znacząco się obniża w porównaniu z krajobrazami niekrasowymi (KN), gdzie sięga ona zaledwie kilkudziesięciu metrów od powierzchni terenu i jest na ogół zbieżna z dolną granicą strefy wietrzenia. W odróżnieniu od bardziej „płaskich” krajobrazów niekrasowych, KK cechują się „objętościowością”.

W strukturze krajobrazu krasowego można wyróżnić dwie składowe: strukturę pionową (geokomponentową – piętrową) oraz poziomą (geokomponentową – morfologiczną).

## WERTYKALNA STRUKTURA GEOKOMPONENTOWA

### Elementy struktury pionowej – geokomponenty

Geokomponentową strukturę krajobrazu niekrasowego tworzą pionowo (warstwowo) układające się – zgodnie ze swoimi fizycznymi właściwościami (stanami skupienia i gęstością materii) – geokomponenty: masywne i mieszane. Geokomponenty masywne to agregatowe jednorodne utwory materialne (geomasy), takie jak: skały (komponent stały, czyli litokomponent), wody (ciekłe, czyli hydrokomponent) i powietrze (gazowy, czyli atmokomponent). Geokomponenty mieszane to utwory agregatowe niejednorodne, występujące w miejscach kontaktu i wzajemnego przenikania się komponentów masowych jednorodnych. Są to tzw. komponenty kontaktowe (ANDREYCHOUK, VOROPAI, 1993; ANDREYCHOUK, 2010), takie jak: gleba (pedokomponent – na kontakcie atmo- i litokomponentu), osady denne akwenów (bottokomponent – na kontakcie hydro- i litokomponentu), horyzonty wodonośne (aquikomponent – nasycone wodą warstwy przekroju geologicznego), przypowierzchniowe warstwy wody w różnych zbiornikach (tzw. „warstwy aktywne” – na kontakcie atmo- i hydrokomponentu, wzbogacone w tlen, naświetlone przez promieniowanie słoneczne, z falowym mieszaniem wód itp.) i inne (rys. 1). Życie, jako odrębny rodzaj geomas, czyli biokomponent, występuje w różnym stopniu i w różnej postaci (zwierzęta, rośliny, mikroorganizmy, martwa masa organiczna) w każdym z geokomponentów, zarówno w masywnych (abiotycznych – skałach, wodzie i powietrzu), jak i mieszanych (rys. 1), przy czym geokomponenty kontaktowe są zazwyczaj o wiele bardziej wzbogacone. To wpływa na właściwości tych komponentów: stają się one utworami abio-biotycznymi. W przy-

<sup>1</sup> Jaskinie to podziemne próżnie o wymiarach dostępnych dla człowieka, w sposób naturalny (ewolucyjnie) lub sztuczny połączone z powierzchnią Ziemi.

<sup>2</sup> Niektórzy krasolodzy-geografowie nazywają jaskinie *podziemnymi krajobrazami* wyróżniającymi się szczególną topografią (morfologią), własną siecią hydrograficzną, specyficznym podziemnym klimatem (mikro- lub mezoklimatem) oraz swoistym światem organizmów jaskiniowych (GVOZDETSKIY, 1954; GERGEDAVA, 1973; CHIKISHEV, 1979). Ciekawe opracowania odnośnie do kompleksowej natury świata jaskiniowego można spotkać w literaturze słowackiej, opisującej jaskinie jako podziemne geosystemy (JAKAL, 1986; BELLA, 2008).

padku aktywnych interakcji pomiędzy ich częściami: nieorganiczną i organiczną, dochodzi nawet do tworzenia się nowej (integralnej) jakości geomas o bardzo specyficznym charakterze i właściwościach (np. gleba).

Pionowa struktura geokomponentowa krajobrazów krasowych jest bardziej złożona aniżeli krajobrazów niekrasowych (rys. 1). Obecność próżni podziemnych czyni pionową strukturę KK piętrową, powtarzającą się. Ponieważ próżnie podziemne lub jaskinie są z natury swojej geokompleksami, w KK mamy do czynienia nie ze zwykłym wzrostem liczby elementów (geokomponentów) w systemie, lecz ze zwiększeniem liczby geokompleksów, czyli ze zmianą jakościową, dotyczącą jego organizacji. Wymusza to wprowadzenie do schematu pionowej organizacji systemu KK jeszcze jednego – podsystemowego poziomu hierarchicznego (poziom organizacyjny pomiędzy elementem a systemem). Obecność dwóch podsystemów – powierzchniowego (nadziemnego, górnego) i podziemnego (dolnego), zasadniczo odróżnia pionową strukturę KK od wertykalnej struktury krajobrazów niekrasowych.

W piętrze dolnym KK (w podsystemie podziemnym) również występują masywne (atmo-, hydro-, lito- i bio-) oraz mieszane (lito-atmo-, hydro-atmo-, lito-hydro- itp.) geokomponenty, lecz w wersji podziemnej. Właściwości podziemnych geokomponentów są nieco inne, niż tych z piętra górnego. I tak, komponent gazowy (powietrze jaskiniowe, podziemna atmosfera, *Amu* – rys. 1) zwykle zawiera więcej (od kilku do kilkuset razy) dwutlenku węgla, metanu, siarkowodoru, radonu i innych gazów, niż atmosfera powierzchniowa. W przypadku utrudnionej wymiany powietrza z zewnętrzną atmosferą, jaskinie, szczególnie duże, labiryntowe, stają się dla potoków gazowych z wnętrza Ziemi swoistymi pułapkami. Wilgotność względna powietrza jaskiniowego często jest równa lub bliska 100%. Morfologia niektórych jaskiń sprawia, że nie ma w nich prawie ruchu powietrza, co rzadko się zdarza na powierzchni.

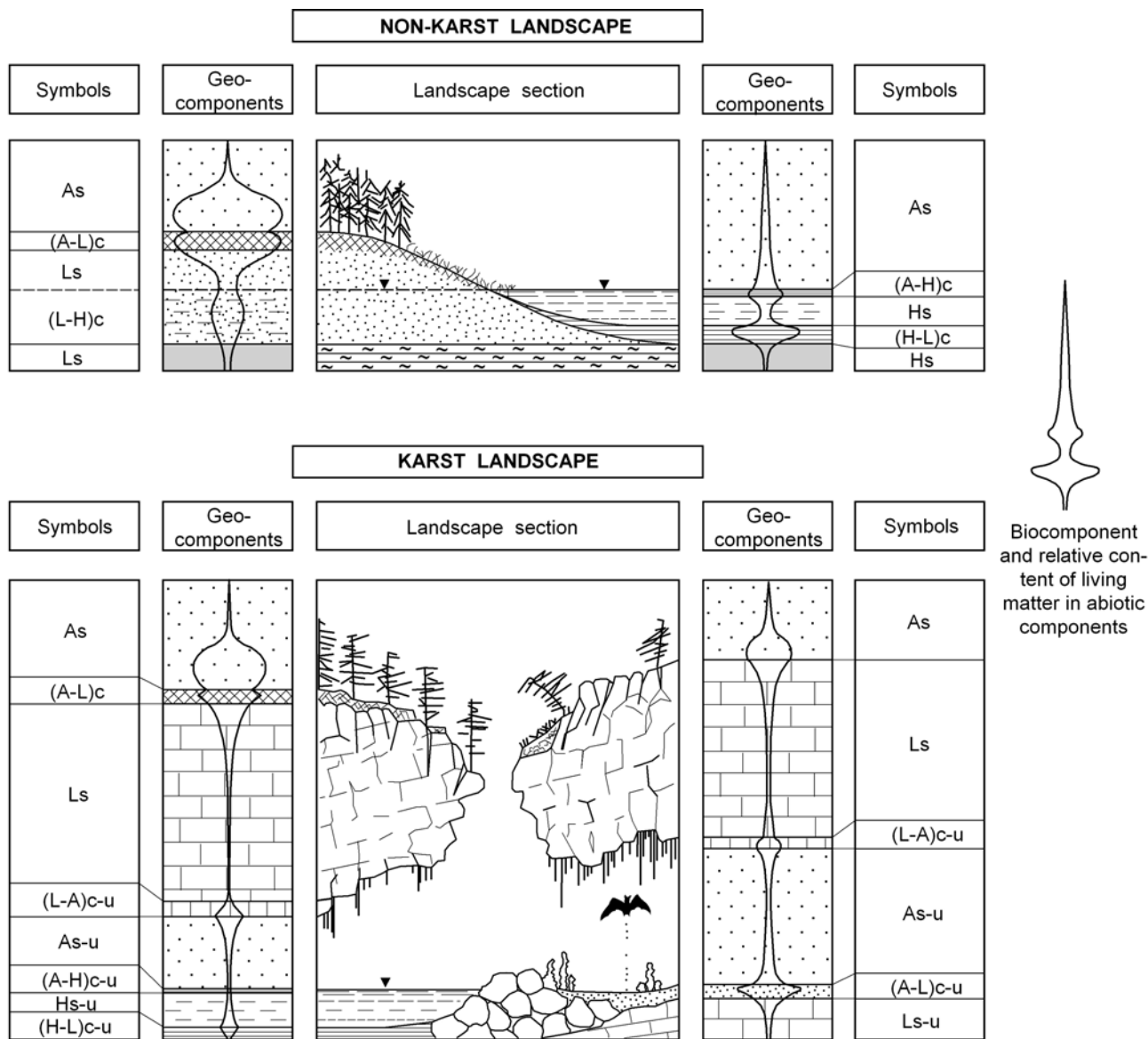
Hydrokomponent podziemny (*Hmu*) jest z kolei wzbogacony w rozpuszczone substancje mineralne ze względu na dłuższy, niż w przypadku wód powierzchniowych, czas interakcji wód ze skałą krasowującą. W krajobrazach niekrasowych mineralizacja wód o wielkości 2–3 g/dm<sup>3</sup> lub więcej występuje zazwyczaj na głębokościach 1–3 km, czyli zdecydowanie poniżej dolnej granicy systemu krajobrazowego, podczas gdy w krajobrazie krasu siarczanowego taka mineralizacja cechuje już nawet wody powierzchniowe. W krajobrazach krasu solnego, z kolei, mineralizacja wód osiąga kilkadziesiąt, a nawet kilkaset g/dm<sup>3</sup>. Wody krasowe dolnego piętra KK często

wyróżniają się bardziej urozmaiconym składem chemicznym oraz bardziej zróżnicowanym środowiskiem geochemicznym, w tym występowaniem warunków redukcyjnych, co na powierzchni zdarza się dość rzadko.

Inny charakter i właściwości ma pod powierzchnią terenu również litokomponent (podłoże skalne krajobrazu, czyli skała krasowująca – *Lmu*). Procesy cementacji, rekrytalizacji, dolomityzacji-dedolomityzacji, metasomatoza, hydratacja i inne, w znacznej mierze zmieniają strukturę, teksturę i litologię skał, a powstające w nich próżnie krasowe deformują konfigurację i różnicują natężenie pól geofizycznych w masywach krasowych. Procesy speleolitogenezy powodują geochemiczną redystrybucję pierwiastków i związków chemicznych. Serie skał krasowujących, zawierające próżnie podziemne, często przepełniają inkluzje krasolitowe oraz potężne masy brekcji krasowych, materiału rezydualnego i skał niekrasowych pochodzenia grawitacyjnego (zapadliskowego).

Zawartość biomasy (biokomponent – *Bmu*) w podsystemie podziemnym KK jest względnie niewielka, szczególnie w porównaniu z podsystemem nadziemnym w krajobrazach niekrasowych. W literaturze prawie nie ma ilościowych szacunków biomasy, cechującej próżnie krasowe lub jaskinie. Jednak w jaskiniach tropikalnych może ona być znacząca, zwłaszcza w przypadku włączenia w kalkulacje odchodów organizmów (na przykład guano). W każdym razie, materii organicznej w piętrze podziemnym KK jest nieporównywalnie więcej, niż w zwykłym podłożu skalnym (szczelinach i porach) krajobrazów niekrasowych.

Geokomponenty mieszane (kontaktowe, abiotyczne) podziemnego podsystemu KK są jeszcze bardziej specyficzne aniżeli masywne. Na przykład, zwietrzała warstwa skalna ścian jaskini czy też przypowierzchniowa warstwa osadów jaskiniowych znacząco różnią się składem i właściwościami od analogicznych utworów powierzchniowych (np. gleb). Jednak, podobnie jak w podsystemie powierzchniowym KK, lokalizują się one na kontakcie komponentów mono-masowych, charakteryzują się wzajemnym przenikaniem i wzajemnym oddziaływaniem budujących je substancji, formowaniem się charakterystycznych barier geochemicznych (rys. 2) i są środowiskami gromadzenia się materii organicznej (żywej i martwej). Nisze korozyjne w stropie jaskiń (*L-A*)*cu* stanowią siedliska nietoperzy, często są zamieszkiwane przez owady (przede wszystkim pajęczaki). Sama powierzchnia skalna stropu i ścian często jest zwietrzała, bardziej porowata, skorodowana lub pokryta skorupą mineralną, wzbogaconą w związki chemiczne, co spowodowane jest utlenieniem minerałów

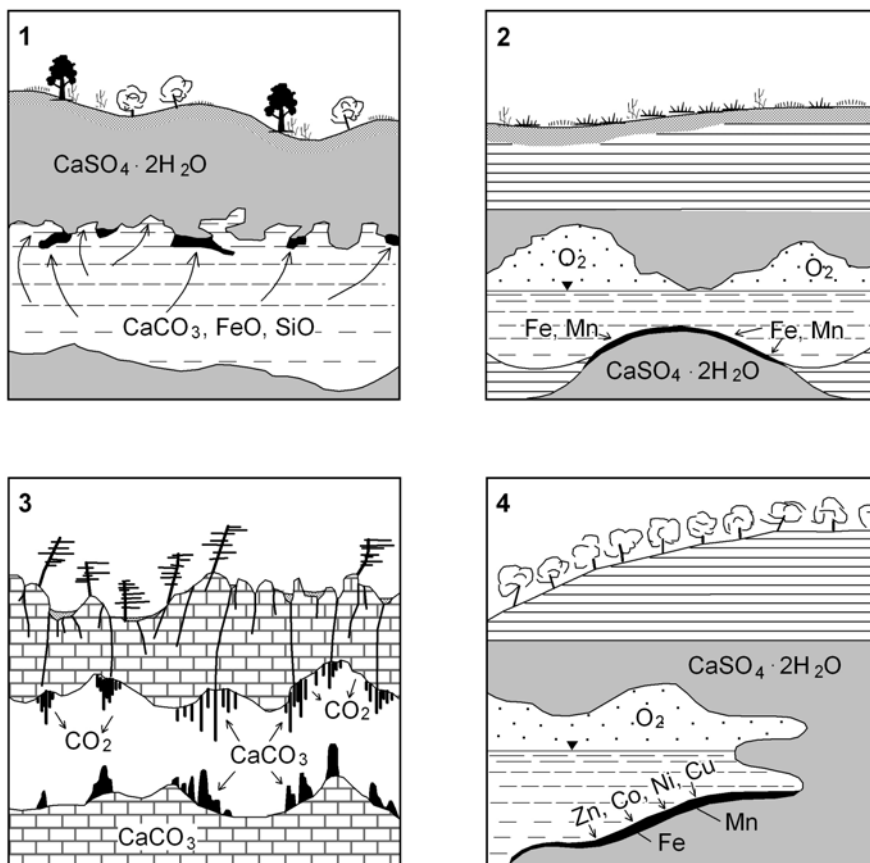


Rys. 1. Wertykalna geokomponentowa struktura krajobrazu krasowego i niekrasowego:

Geokomponenty agregatowe jednorodnie (masywne): As – atokomponent – atmosferyczny (gazowy); Ls – lito-komponent – skalny (twardy); Hs – hydrokomponent – wodny (płynny); As-u – atokomponent – podziemny, Hs-u – hydrokomponent – podziemny, Ls-u – lito-komponent – podziemny; Geokomponenty agregatowe zróżnicowane (mieszane, kontaktowe): (A-L)c – gleba; (L-H)c – wodonosiec; (A-H)c – przypowierzchniowa (aktywna) warstwa akwenu; (L-A)c-u – zwierzała warstwa skalna stropu i ścian jaskini; (A-L)c-u – przypowierzchniowa warstwa osadów jaskiniowych; (A-H)c-u – przypowierzchniowa (aktywna) warstwa akwenu jaskiniowych; (H-L)c-u – osady denne akwenu jaskiniowych

Fig. 1. The principal vertical geocomponent structure of the non-karst and karst landscapes:

homogenous components: As – atmo-component - substantial (gaseous, massive); Ls – litho-component -substantial (solid, massive); Hs – hydro-component - substantial (liquid, massive); As-u – atmo-component -substantial (gaseous, massive) – subterranean (underground); Hs-u – hydro-component - substantial (liquid, massive) – subterranean (underground); Ls-u – litho-component – substantial (solid, massive) – subterranean (underground); heterogeneous components: (A-L)c – soil (mixed, contact); (L-H)c – aquifer (mixed, contact); (A-H)c – near-the-surface water strata (“active layer”) of water reservoirs (mixed, contact); (L-A)c-u – the rock of the cave ceiling and walls (mixed, contact); (A-L)c-u – the surface layer of cave sediments (mixed, contact); (A-H)c-u – the near-surface water layer of larger cave lakes (mixed, contact); (H-L)c-u – the bottom sediments of underground reservoirs (mixed, contact)

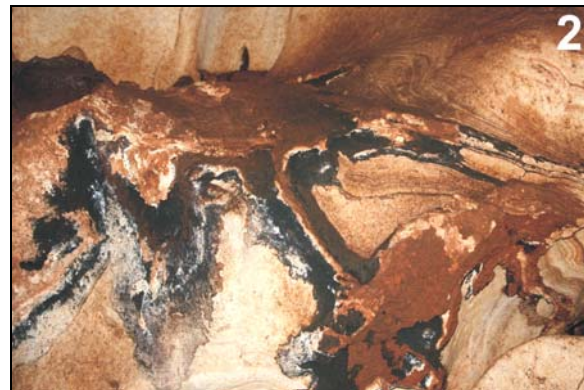


Rys. 2. Wybrane przykłady barier geochemicznych w podziemnej części krajobrazu krasowego:  
 1 – rozpuszczalna, 2 – tlenowa, 3 – termiczno-gazowo-dynamiczna, 4 – sorpcyjna  
 Fig. 2. Some types of geochemical barriers in the underground part of karst landscapes:  
 1 – solution, 2 – oxygenic, 3 – thermogasodynamic, 4 – sorption

i pierwiastków, zawartych w skale, agresywnym oddziaływaniem substancji organicznych i gazów itp. (fot. 1). W tej strefie wody infiltracyjne często chemicznie deponują osady, tutaj też odbywa się krystalizacja lub rekrytalizacja minerałów, powstaje kondensat wodny. Ze względu na wzajemne przenikanie się środowisk i substancji (tlen, woda, organika itp.) na powierzchni oraz w środku warstwy kontaktowej koncentrują się różnego rodzaju mikroorganizmy, których działalność również przyczynia się do zmian jakościowych zachodzących w tej warstwie (rys. 3). W obecności światła, np. sztucznego, na pożywnym podłożu skalnym intensywnie rozwijają się glony (algi), grzyby, a nawet roślinność (tzw. *lampenflora* – fot. 2).

Powierzchniowa warstwa osadów jaskiniowych (*A-L*)*cu* jest również bogatsza w życie od podścielającej ją warstwy. W niej gromadzą się rozkładające się resztki organizmów jaskiniowych oraz organizmów wniesionych do jaskini z powierzchni przez wody, powietrze lub grawitacyjnie, jak również odchody (ekskrementy) organizmów żyjących w jaskini. Gro-

madzący się materiał organiczny tworzy znakomity biosubstrat do rozwoju mikroorganizmów i owadów, kształtujących podstawę jaskiniowej piramidy ekologicznej powiązań troficznych. Kwasy organiczne, wydostające się z odchodów przeobrażają chemicznie występy skalne dna jaskiń, czemu często towarzyszy powstawanie specyficznych, częściowo biogenicznych minerałów (głównie z grupy fosforanów). Tutaj również koncentruje się działalność mikroorganizmów utylizujących organikę, a czasami też produkujących specyficzne związki chemiczne (odchody metaboliczne bakterii chemosyntezujących). Na powierzchni osadów jaskiniowych spotkać można nawet drobne rośliny, wyrastające (tylko do stadium embrionalnego) z nasion, które dostały się tutaj z wodą, wiatrem czy na butach speleologów. Na resztkach substancji organicznej oraz śmieciach, zostawionych w jaskini przez człowieka, dobrze rozwija się mikroflora i pleśń, pokrywająca niekiedy dziesiątki metrów kwadratowych powierzchni, czemu sprzyja duża wilgotność i stabilność mikroklimatu jaskiniowego.



Fot. 1. Organiczno-mineralne (1) i węglanowo-żelazisto-manganowe (2) naskorupienia mineralne na stropie (1) i ścianach (2) Jaskini Davadung, Tajlandia (fot. W. Andrejczuk)

Photo 1. Organic-mineral (1) and carbonate-ferruginous-manganese (2) crust formations on the cave ceiling (1) and walls (2) (Davadung Cave, Thailand, R. Qwai basin, photo by W. Andrejczuk)



Fot. 2. Paprotka rosnąca w jaskini dzięki sztuczemu oświetleniu podłoża i ścian. Laos, jaskinia w okolicach Wan Vieng (fot. W. Andrejczuk)

Photo 2. Fern growing in a cave by artificial light of ground and walls. Laos, the cave in the suburbs of Van Vieng (photo by W. Andrejczuk)

Za geokomponent kontaktowy podziemnego podsystemu KK (*A-H*)*cu* może być uważana również przy powierzchniowa warstwa wody większych jezior jas-

kiniowych. Ogólnie znany jest fakt wyraźnej stratyfikacji właściwości fizyczno-chemicznych wód akwenu podziemnych, przy czym warstwa górna wody prawie zawsze wyróżnia się podwyższoną zawartością substancji rozpuszczonych. Wskutek parowania wody, osiadania z powietrza cząstek aerozoli i zaburzenia równowagi hydrochemicznej, na powierzchni wody dochodzi do wytrącania się „błony” mineralnej. Tworzą się tutaj specyficzne bariery geochemiczne (na drodze migracji pierwiastków chemicznych), takie jak: mechaniczna, ewaporacyjna i tlenowa, na których dochodzi do wytrącania się związków chemicznych, powstawania przejściowych lub tymczasowych faz mineralnych (fot. 2). W warstwie powierzchniowej (błonie) koncentruje się również życie bakterii (fot. 3).

Z osadem dennym podziemnych akwenu<sup>3</sup> – (*H-A*)*cu*, związane jest życie wielu organizmów zamieszkujących wody podziemne – widłonogów, obunogów i innych. Tu też gromadzi się organika (co prawda, w nieznacznym stopniu), powstają bariery geochemiczne z osadzania się związków mineralnych (fot. 2) oraz obserwuje się podwyższoną aktywność życiową mikroorganizmów (rys. 4).

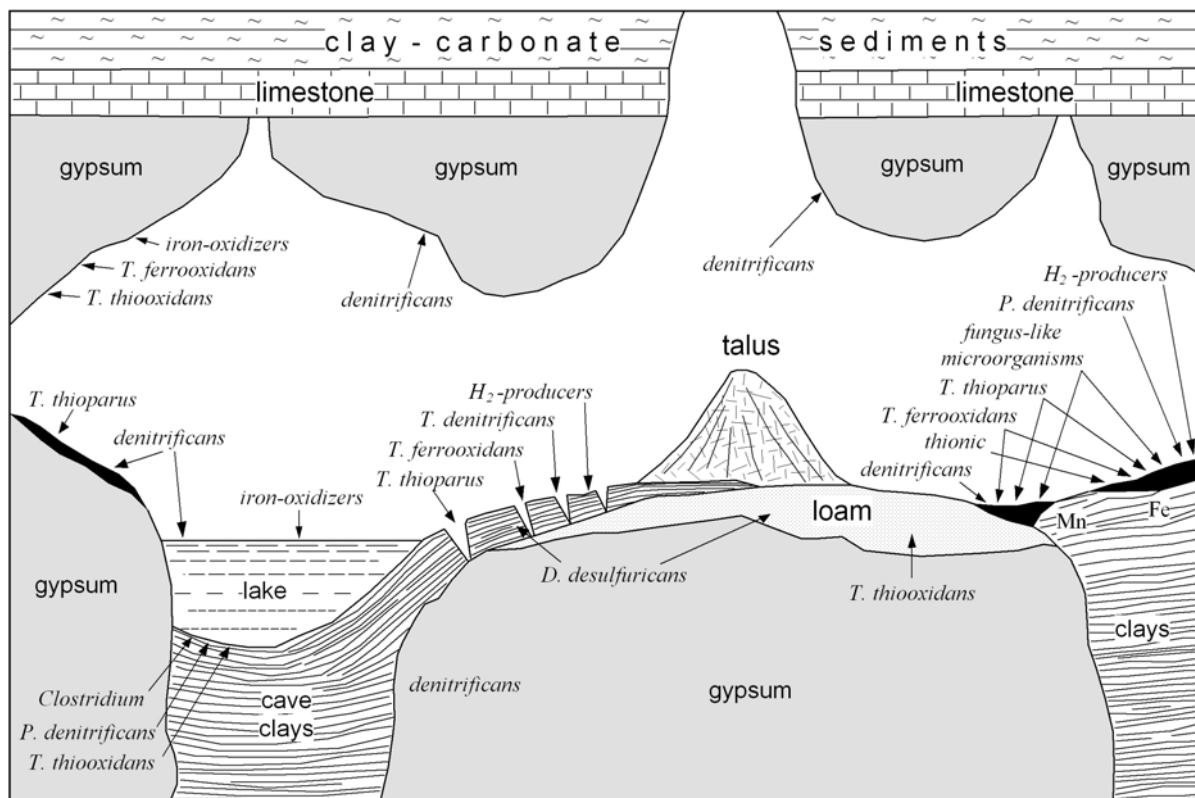
Generalnie jednak, świat organiczny podsystemu podziemnego KK jest znacznie uboższy od powierzchniowego. Pewien wyjątek stanowią krajobrazy krasowe pustyni, gdzie w bardziej wilgotnych (w porównaniu z warunkami na powierzchni) jaskiniach koncentruje się dość różnorodna fauna owadów, gadów, gryzoni itp.

W strukturze geokomponentowej KK, na obecnym etapie rozwoju epigeosfery<sup>4</sup>, coraz częściej zaznacza swoją obecność człowiek wraz z produktami jego działalności gospodarczej (techniką oraz elementami infrastruktury). Stanowi on jakościowo nowy element systemu, który tworzy własne relacje i powiązania z innymi elementami systemu KK i przez

<sup>3</sup> Do tej grupy podziemnych geokomponentów mieszanych zalicza się również wodonośce krasowe. Wody podziemne wypełniające szczeliny i próżnie krasowe zazwyczaj są wzbogacone w rozpuszczone związki mineralne i organiczne, również koloidalne. Przy zmianie warunków geochemicznych, np. redukcyjnych na tlenowe, dochodzi do ich wytrącania na ścianach próżni i szczelin. Na przykład, po wytrąceniu się z wody związków żelaza i manganu, ściany pokrywają się czarną lub żółtą patyną, co dobrze widać w kamieniołomach, w których sztucznie obniżono poziom wód.

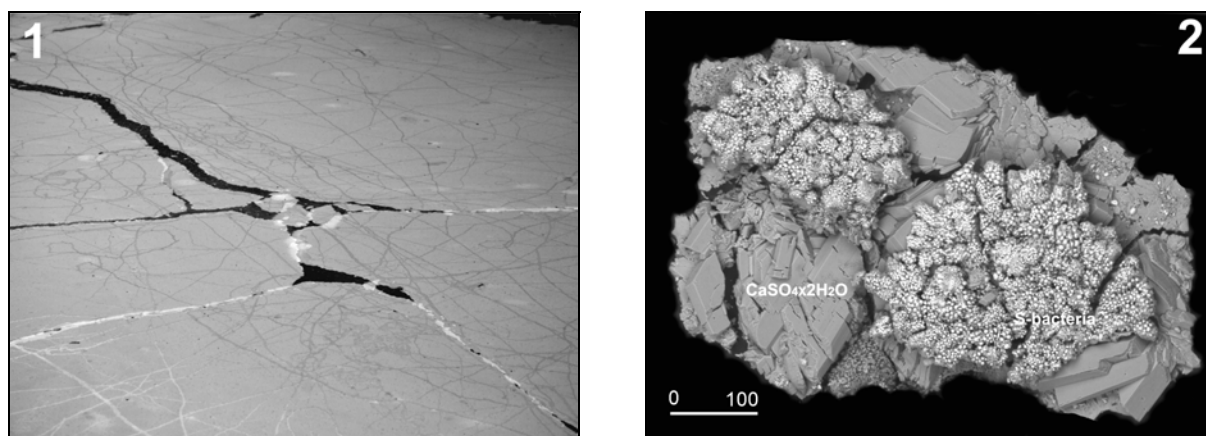
<sup>4</sup> Termin *epigeosfera* lub powłoka geograficzna jest używany przez geografów fizycznych oraz ekologów krajobrazu w krajach Europy Wschodniej. Terminem tym określa się kilkunastokilometrową przypowierzchniową strefę przestrzenną, w której zachodzi aktywny obieg materii i energii pomiędzy litosferą, hydrosferą i atmosferą (*abiosfera*) i w której występuje życie. Po zintegrowaniu z życiem, które też jest włączone w obieg, *abiosfera* tworzy *biosferę*, a *biosfera* z człowiekiem – *antroposferę* (*noosferę*, *technosferę* itp.).





Rys. 3. Rozpowszechnienie bazowych gatunków i grup mikroorganizmów w Jaskini Zolushka (Bukowina, Ukraina) (wg: ANDREYCHOUK, KLIMCHOUK, 2001). Życie mikroorganizmów koncentruje się na powierzchni osadów i ścian jaskiniowych, czyli nawiązuje do geokomponentów kontaktowych

Fig.3. Distribution of basic species and groups of microorganisms in Zoloushka Cave (Bukovina, Ukraine) (after ANDREYCHOUK, KLIMCHOUK, 2001). Microorganisms are concentrated on the surface of cave sediments and walls, i.e. related with contact geocomponents

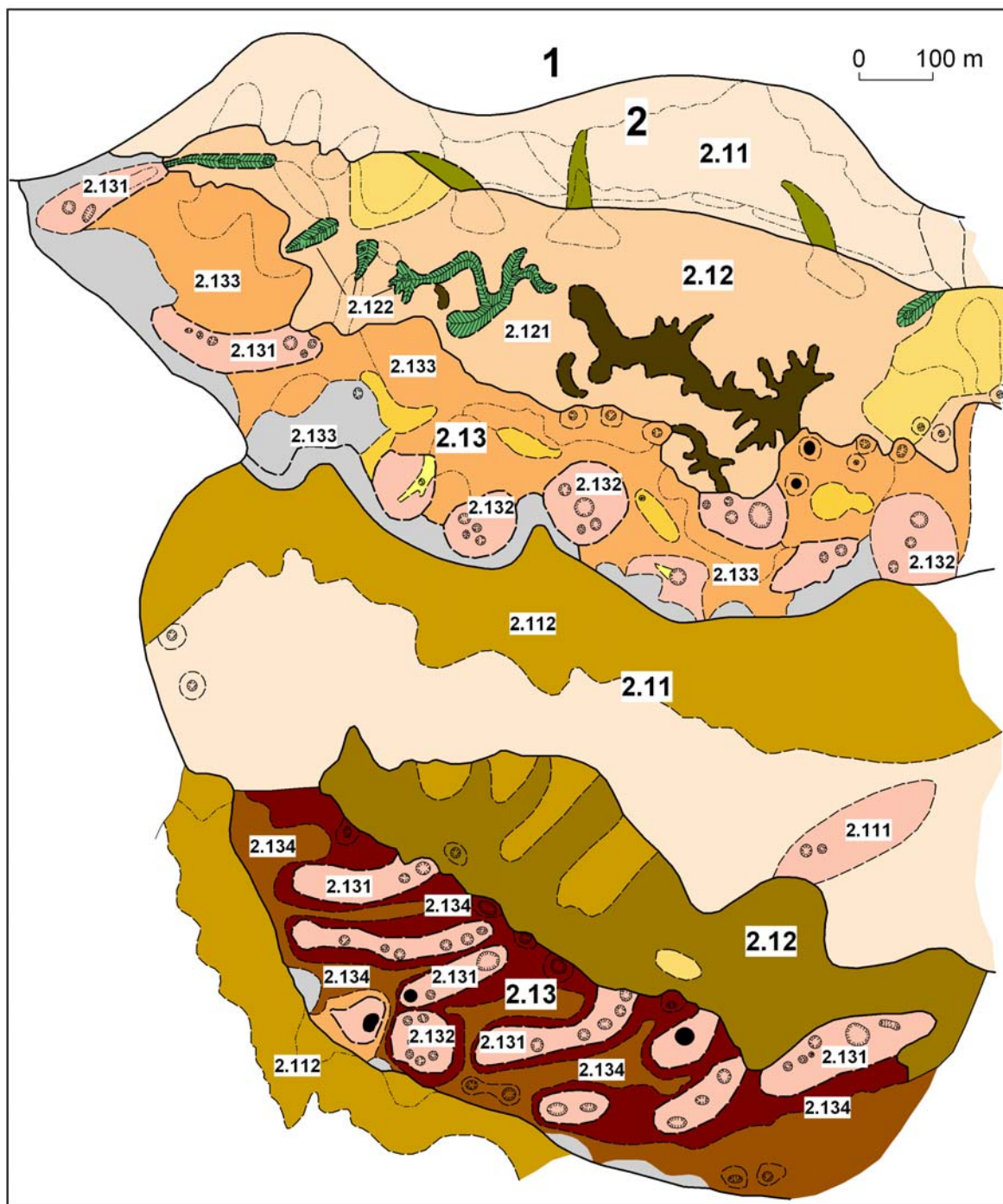


Fot. 3. Błona mineralno-organiczna (gips + bakterie siarkowe) na powierzchni wody. Ascencyjne źródło wód termalnych w Macedonii, okolice Debar (fot. W. Andrejczuk):

1 – cienka skorupka gipsowa pływająca na powierzchni wody, 2 – fragment skorupki z widocznymi na niej pod mikroskopem elektronowym kryształami gipsu i bakteriami siarkowymi.

Photo 3. An organic-mineral (gypsum + sulphur bacteria) layer (thin crust) on the water surface. An ascending karst spring (lake) with thermal water enriched in sulphates. Debar surroundings, Macedonia (photo by W. Andrejczuk):

1 – thin gypsum crust, 2 – fragment of crust composed of gypsum micro-crystals and sulphur bacteria on them under SEM (scale in microns).



Rys. 4. Fragment mapy krajobrazu (struktura morfologiczna) krasowego Płaskowyżu Kyrktay (Grzbiet Zerawszański, Uzbekistan): jednostki krajobrazowe:

1 – erozyjne (przeważnie) stoki masywu krasowego, 2 – krajobraz skrasowiałego płaskowyżu. Przykłady hierarchicznie ustrukturyzowanych elementów krajobrazu krasowego: 2.11, 2.12 – jednostki poziomu terenowego, 2.132 – jednostka poziomu uroczyskowego

Fig. 4. The fragment of landscape map (morphological structure) of Kyrktau karst plateau (Zeravshan Ridge, Uzbekistan): landscape unities: 1 – erosion (mainly) slope of karst massive, 2 – karst landscape (karstified plateau on the top of monoclinical structure). Examples of hierarchically organized elements of karst landscape: 2.11 – of “terrain” level, 2.132 – of “spot” level (as examples)

to zaczyna coraz aktywniej oddziaływać na krajobraz (najczęściej destrukcyjnie). Podobnie jak biokomponent, ten nowy element nie ma ścisłej lokalizacji

w strukturze pionowej systemu, lecz może występować z różnym „natężeniem” w jego wszystkich warstwach.



Tak więc, pionowa struktura KK, w odróżnieniu od „zwykłej” geokomponentowej struktury krajobrazów niekrasowych, ma charakter piętrowy, przy czym piętrowość dotyczy nie tylko wydłużenia w głąb (wzrostu ilościowego) wertykalnego „spektrum” geokomponentów, ale jakościowo różnicuje cały system, nadając mu również geokompleksowy, a raczej multikompleksowy charakter. Geokomponentowy, a jednocześnie geokompleksowy charakter, to osobliwość struktury właśnie krajobrazów krasowych. W kategoriach systemologii oznacza to, że w danym przypadku występuje wyższy poziom organizacji całego systemu, w którym elementy są zorganizowane w podsystemy, a podsystemy tworzą system (krajobrazowy). Okoliczność ta ma kluczowe znaczenie w formowaniu się holistycznych właściwości KK oraz dla zrozumienia specyfiki jego funkcjonowania, dynamiki, samoregulacji, stabilności, samorozwoju i ewolucji jako specyficznego systemu przyrodniczego.

## Powiązania materialne i energetyczne geokomponentów

Obecność próżni jaskiniowych sprawia, że krajobraz krasowy jest o wiele głębszy – w bezpośrednim znaczeniu tego słowa – od zwykłego krajobrazu. Biorąc pod uwagę fakt, że systemy jaskiniowe „schodzą” na głębokość kilkuset metrów, a nawet 1–2 km od powierzchni terenu, miąższość krajobrazu krasowego kilkakrotnie przekracza miąższość krajobrazu niekrasowego, nadając KK większą trójwymiarowość, „rozciągając” go w pionie i różnicując zachodzące w nim procesy geodynamiczne. Fakt zwiększenia przestrzeni krajobrazowej kosztem wektora pionowego wielokrotnie potęguje w KK działanie grawitacji.

Swoistość przekroju pionowego KK – znaczne wydłużenie w głąb, powtarzające się spektrum geokomponentów, obecność podsystemu podziemnego determinują specyfikę wzajemnego materialnego i energetycznego oddziaływania jego komponentów. Oddziaływania te (powiązania elementów systemu) realizują się w postaci materialno-energetycznych (oraz informacyjnych) potoków pomiędzy nimi.

Wspomniane cechy przekroju pionowego KK determinują osobliwości pionowych powiązań między komponentami (potoków materii i energii) w nim występujących. Po pierwsze, ich znaczenie w ogólnej strukturze powiązań elementów KK jest zdecydowanie wyższe aniżeli w krajobrazach niekrasowych. Po drugie, zdecydowanie częściej, niż w niekrasowych krajobrazach występuje wschodzący kierunek ich działań. Dobrze znane są, na przykład, sezonowe zmiany wymiany powietrza pomiędzy podziemną a nadziemną częścią KK, znaczne wahania

poziomu wód w akwenach jaskiniowych i wodonoścach krasowych (dziesiątki, a w górach nawet setki metrów). Po trzecie, w pionowych potokach KK, w nieporównywalnie większym stopniu, aniżeli w krajobrazach niekrasowych, występuje transport materiału stałego (z potokami wody, a szczególnie wskutek procesów zapadania się stropu próżni podziemnych). Jeszcze jedną osobliwością powiązań pionowych komponentów w KK jest ruch mas wodnych w postaci swobodnie płynących (jak na powierzchni) potoków, przybierających w jaskiniach i studniach formę kaskad i wodospadów. Na ogół, rozszerzone spektrum geokomponentów w KK powoduje też zdecydowanie większą, aniżeli w krajobrazach niekrasowych ogólną ilość ich powiązań.

## Aspekty paradynamiczne i paragenetyczne pionowej struktury krajobrazów krasowych

Pionowe potoki materialne i energetyczne KK łączą w całość zarówno warstwowo ułożone geokomponenty, jak i podsystemy (nadziemny i podziemny) przez nie tworzone. Potoki te mają charakter nie tylko paradynamiczny (wzajemne oddziaływanie), ale – przede wszystkim – paragenetyczny, polegający na tym, że powierzchniowy i podziemny podsystem krajobrazu rozwija się (w miarę ewolucji systemu) w sposób coraz bardziej sprzężony, w kierunku uściślenia powiązań i wzajemnego uzależnienia. Na przykład, zapadlisko powstałe nad próżnią podziemną kształtuje wokół siebie niewielką zlewnię – lej krasowy. Zbierając wody opadowe oraz gruntowe i sprowadzając je pod ziemię, lej sprzyja powiększeniu drenującej go próżni podziemnej. Obecność podziemnego drenażu i odprowadzenie w głąb materiału ze spływu powierzchniowego sprzyja z kolei zwiększeniu areалу zlewni (zmyw powierzchniowy). W ten sposób pomiędzy podziemnym a powierzchniowym elementem krajobrazu kształtuje się dodatnie sprzężenie zwrotne i powstaje parageneza dynamiczna. I na odwrót: kolmatacja materiałem glebowym ponoru w dnie leja krasowego prowadzi do zaniku interakcji elementów, co odbija się funkcjonalnie i fizjonomicznie na podziemnych i nadziemnych elementach krasowego systemu paragenetycznego. Oczywiście procesy interakcji pomiędzy podsystemem nadziemnym i podziemnym są o wiele bardziej złożone, różnicują się powierzchniowo i wektorowo, niemniej jednak zachowują swój paragenetyczny charakter.

Ponieważ pionowe potoki nie tylko przenikają przez geokomponenty KK, scalając je strukturalnie, ale i łączą ze sobą jego część nadziemną i podziemną (podsystemy, geokompleksy), można mówić, że pio-

nowe powiązania w KK mają charakter nie tylko międzykomponentowy ale i międzykompleksowy. To oznacza m. in., że podziemna i nadziemna część KK tworzą swoisty paradynamiczny, a przede wszystkim paragenetyczny geosystem, którego nie mają krajobrazy niekrasowe o wyłącznie geokomponentowej strukturze pionowej i międzykomponentowym charakterze pionowych powiązań materialnych i energetycznych.

Opisane wyżej właściwości wertykalnej struktury KK pozwalają uznać ją za specyficzną i zaliczyć do odrębnego szczególnego typu ułożenia geokomponentów wertykalnej struktury krajobrazów.

## HORYZONTALNA STRUKTURA KOMPLEKSOWA (MORFOLOGICZNA)

### Elementy struktury poziomej – geokompleksy

Strukturę horyzontalną krajobrazu krasowego, jak i innych krajobrazów, tworzą całościowe topologiczne wewnątrzkrajobrazowe jednostki przestrzenne – geokompleksy. Są to hierarchicznie zorganizowane twory różnej wielkości formujące geokompleksową mozaikę krajobrazu. Najprostszą „cegiełką” strukturalną poziomej struktury krajobrazu jest facja – homogeniczny fragment powierzchni o określonych granicach, nawiązujący do pewnego elementu rzeźby, w którego obrębie jest zachowana jednorodność podłoża skalnego (geotop), mikroklimatu (klimatop), gleby (pedotop) oraz roślinności (biotop), czyli jednorodny układ komponentów o strukturze wertykalnej. Facja to elementarny geokompleks, najmniejsza jednostka strukturalna, łącząca geokomponenty w całość<sup>5</sup>. Facje tworzą jednostki wyższego szczebla taksonomicznego – tzw. uroczyska. Przykładami uroczysk mogą być: stary lej krasowy o nachylonych zboczach i płaskim dnie, tworzących odrębne facje (zbocza i dna) lub ostaniec krasowy o stromych, skalistych ścianach (facja) i zaokrąglonym, porośniętym roślinnością, skrasowiałym wierzchołku (facja). Uroczyska składają się na tereny – obszary o regularnym występowaniu kilku typów uroczysk, np. szeroka terasa zalewowa dużej rzeki z uroczyskami okresowo zalewanymi płaskimi powierzchniami (łąk) oraz stale zalewanych starorzeczy (jezior). W krasie przykładami terenów mogą być: skrasowiała spłaszczona powierzchnia wododziałowa usiana lejami krasowymi o różnej wielkości (uroczyskami), polje krasowe z uroczyskami zboczy, dna, koryt tranzytowych lub za-

nikających potoków, lejów krasowych itd. Z terenów – największych wewnątrzkrajobrazowych geokompleksowych jednostek topologicznych, składa się już sam krajobraz<sup>6</sup>. Geokompleksowe jednostki każdego poziomu to przede wszystkim swoiste geomorfologiczne zespoły przyrodnicze oraz „orkiestry” geodynamiczne, w których rolę dyrygenta odgrywa rzeźba, jej zróżnicowanie oraz procesy ją kształtujące i przez nią indukowane. Rzeźba terenu różnicuje warunki ekologiczne (nasłonecznienie, wilgotność i in.), decydujące o charakterze bioty (flory, fauny), gleb i w ten sposób – o charakterze całego geokompleksu tej lub innej rangi. Geokompleksowa przestrzenna (terytorialna) struktura krajobrazu jest często jest nazywana jest morfologiczną (rys. 4).

Trójpoziomowa (facja–uroczysko–teren) organizacja (każdego) krajobrazu stanowi jego mniej lub bardziej uniwersalny szkielet taksonomiczny. Jednak w krajobrazach o bardziej zróżnicowanej strukturze wewnętrznej, trójstopniowa hierarchia nie pozwala na adekwatne odzwierciedlenie realnej struktury (morfologii) krajobrazu i wymaga wprowadzenia dodatkowych poziomów (jednostek) hierarchicznych, np.: ogniwa (VIDINA, 1970), poduroczyska (pomiędzy facją a uroczyskiem), złożonego uroczyska, podterenu (VOROPAI, ANDREYCHOUK, 1985), a w górach – stry (pomiędzy uroczyskiem a terenem) (MILLER, 1974). Problem ten zazwyczaj ujawnia się przy kartowaniu krajobrazów. Na ogół morfologiczna struktura krajobrazu jest uzależniona od zróżnicowania rzeźby, przede wszystkim charakteru (stopnia, głębokości, gęstości itp.) rozczłonkowania obszaru krajobrazowego. Dlatego krajobrazy wyżynne lub górskie mają bardziej złożoną strukturę aniżeli równinne, a tym bardziej nizinne.

Kartowanie geokompleksowe (krajobrazowe) struktury krajobrazu krasowego w większości przypadków wykazuje konieczność stosowania bardziej szczegółowej skali taksonomicznej, ponieważ cechują się one bardziej złożoną strukturą wewnętrzną (organizacją przestrzenną). Z doświadczeń autora wynika, że na ogół krajobraz krasowy tego samego typu geomorfologicznego co niekrasowy (nizinny, równinny, wyżynny czy górski) ma bardziej złożoną strukturę od krajobrazu niekrasowego KN – przynajmniej o jeden strukturalny poziom taksonomiczny. Niektóre krasowe krajobrazy równin są tak samo lub bardziej złożone niż niekrasowe krajobrazy górskie. Wynika to z obecności w rzeźbie krajobrazów krasowych nie tylko liniowych form erozyjnych, lecz

<sup>5</sup> Odpowiednikiem facji w ekologii jest *ekotop* lub *biogeocenoza*.

<sup>6</sup> Facja – to najmniejsza *homogeniczna (jednorodna)* jednostka krajobrazowa, natomiast jednostki wyższych rzędów – uroczyska, tereny itd. należą do tworów *heterogenicznych* (o niejednorodnej strukturze wewnętrznej) i nazywane są *geochorami*.

również licznych form krasowych (lejów, kotlin, ślepych dolin, ostańców skalnych itp.). Obecność tych dodatkowych form (potencjalnych geokompleksów), ich zróżnicowane relacje przestrzenne oraz interakcje z formami linijnymi w znacznej mierze komplikują strukturę wewnętrzną KK. Głównym „winowajcą” jest jego podziemny podsystem, „walczący” z powierzchniowym o materię i energię (przede wszystkim o wodę).

Przestrzenna struktura KK jest nie tylko bardziej złożona od struktury krajobrazów niekrasowych, ale ma specyficzne, charakterystyczne dla niej cechy morfologiczne. Chodzi przede wszystkim o wyraźną – w dojrzałym KK – dominację form koncentrycznych – okrągłych, owalnych, zarówno wklęsłych (leje, kotliny, polja), jak i wypukłych (pagóry i ostańce) różnej wielkości<sup>7</sup>. Najczęściej formy koncentryczne tworzą zamknięte areale, w których obrębie kształtują się odrębne geokompleksy. Formy te dają specyficzny rysunek morfologiczny KK, odróżniający go od przeważnie linijnie orientowanych elementów krajobrazów niekrasowych, kształtowanych przez ciekę powierzchniowe (krajobraz erozyjny), lodowce (krajobraz drumlinowy) czy nawet wiatr (jardangi w krajobrazie pustynnym). Oczywiście, w strukturze KK również występują formy linijne, nawiązujące do dolin rzecznych, szarp erozyjnych czy uskokowych itp. Ich liczba w krajobrazie maleje jednak w miarę rozwoju ewolucyjnego KK w stosunku do form koncentrycznych. Wraz z wysokością położenia KK (im wyżej – tym mniej, ze względu na bardziej sprzyjające warunki przenikania wód pod ziemię) oraz ze zmniejszeniem miąższości pokrywających podłoże krasowe osadów niekrasowych, zmniejsza się również liczba form linijnych, co także sprzyja zanikaniu powierzchniowej sieci wodnej, degradacji w zlewni form erozyjnych. Stosunek form linijnych i owalnych w krajobrazie krasowym jest wskaźnikiem integralnym i odzwierciedla szereg aspektów rozwojowych KK. Przechwytywanie przez próżnię podziemne potoków powierzchniowych prowadzi do degradacji form linijnych i wykształcenia względnie autonomicznych (w sensie geodynamicznym) form owal-

nych, na których bazie formują się całościowe jednostki przyrodnicze – geokompleksy.

Reasumując, horyzontalna struktura KK z natury swojej jest kompleksowa i hierarchiczna. Jej elementami są całościowe, hierarchicznie zorganizowane w przestrzeni krajobrazowej jednostki topologiczne różnej wielkości: od elementarnych homogenicznych (facjalnych) po złożone wieloskładnikowe utwory heterogeniczne.

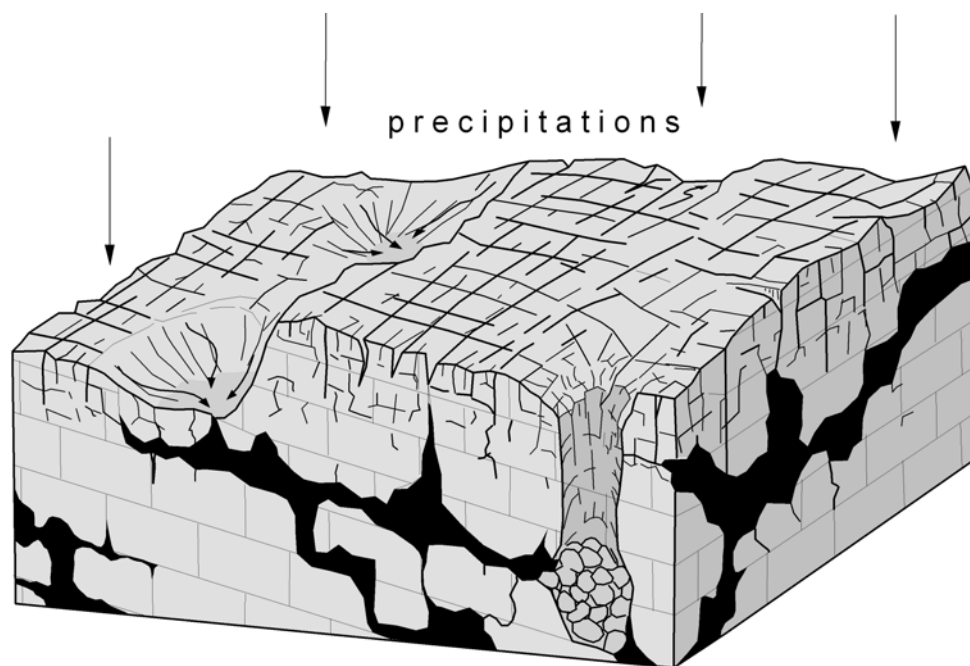
## Powiązania materialne i energetyczne pomiędzy geokompleksami

Horyzontalne powiązania geokompleksów w KK również różnią się od tych w krajobrazach niekrasowych. W obu przypadkach są one reprezentowane przez lateralne potoki materialne i energetyczne w postaci spływu linijnego i powierzchniowego, procesy stokowe, cyrkulację mas powietrznych, migracje organizmów itp. Ich główne kierunki są kontrolowane przez hipsometrię i rzeźbę powierzchni, tworzące „gradient grawitacyjny”, decydujący o przemieszczaniu gęstszych geomas (skał, wody, osadów), czynniki klimatotwórcze, wytwarzające gradienty termiczne i baryczne, uruchamiające masy powietrzne oraz czynniki ekologiczne, prowadzące do przemieszczania się organizmów żywych (biomas).

Wyraźna specyfika rzeźby krasowej modyfikuje, komplikuje, a nawet narusza lateralną wymianę materialną i energetyczną pomiędzy poziomymi elementami strukturalnymi KK. W wielu sytuacjach dochodzi do jej prawie całkowitego zanikania. Na przykład w nagim krasie wody meteoryczne, spadające na skrasowiąta, szczelinowatą powierzchnię, zdominowaną przez żłobki krasowe, praktycznie całkowicie infiltrują w głąb masywu, pozostawiając sąsiadujące ze sobą geokompleksy (facje, uroczyska) bez interakcji w płaszczyźnie lateralnej (rys. 5).

W krasie zakrytym, lateralną wymianę materialno-energetyczną pomiędzy geokompleksami w znacznej mierze zaburzają powierzchniowe formy krasowe, które przechwytyują spływ, zarówno linijny jak i powierzchniowy, lokalizując go w obrębie odrębnych geokompleksów, często „przekazując” go podsystemowi podziemnemu. W ten sposób powstaje specyficzny radialno-centryczny (a nie linijny, jak w krajobrazach niekrasowych) typ koniugacji materialno-energetycznej jednostek wewnątrzkrajobrazowych, często – z podziemną utylizacją potencjalnych oddziaływań zewnętrznych na krajobraz. Mamy więc do czynienia z przestrzennym ograniczaniem poziomego wektora powiązań w strukturze KK, z rozdrobnieniem, sytuowaniem się potoków w obrębie mniej-

<sup>7</sup> Dominacja form wklęsłych czy wypukłych zależy w znacznej mierze od warunków klimatycznych oraz wieku krasu. W krajobrazach krasowych obszarów tropikalnych – z dużą ilością opadów i długim cyklem rozwojowym w klimatycznie niezmiennych (przez miliony lat) warunkach – dominują formy wypukłe (pagórkowate, stożkowe i ostańcowe). Natomiast w krasie umiarkowanych szerokości geograficznych przeważają formy wklęsłe (leje, wanny, depresje). Krajobrazy krasowe obszarów o klimacie przejściowym (np. śródziemnomorskim) dysponują „mieszanką” form wklęsłych i wypukłych, a ich proporcje są uzależnione zarówno od czynników klimatycznych (nie tylko szerokościowych, ale też wysokościowych), jak i strukturalno-geologicznych.



Rys. 5. Hipotetyczny fragment powierzchni skrasowiałego masywu z polami szczelinowych żłobków krasowych oraz lejkami z rozpuszczania. Wskutek bezpośredniego wsiąkania opadów w skrasowiałe „sito” skalne, oddziaływania lateralne pomiędzy elementami morfologicznymi krajobrazu są minimalne

Fig. 5. A hypothetic fragment of karst plateau with karren fields and solution dolines. Within the limits of karren fields, direct infiltration of meteorological water into the massive takes place excluding its lateral movement

szych jednostek strukturalnych, a na ogół z ich zamknięciem się i dążeniem do samoizolacji jednostkowej, w przeciwieństwie do krajobrazów niekarstowych, cechujących się otwartością dynamiczną swoich jednostek, ich wielopoziomowymi interakcjami i ogólną tendencją do wzrastania stopnia tranzytowości potoków międzykompleksowych (czyli wzrostu otwartości geosystemu). Nieco uogólniając i upraszczając można powiedzieć, że w KK występuje tendencja do zanikania horyzontalnych powiązań strukturalnych, ich dywersyfikacji, i w sumie – do geodynamicznego izolowania się jednostek (geokompleksów), a w krajobrazach niekarstowych – do rozwoju powiązań lateralnych i coraz szerszego dynamicznego łączenia się jednostek.

Ta okoliczność dotycząca specyfiki lateralnych powiązań strukturalnych w KK ma decydujące znaczenie w jego rozwoju oraz determinuje kształtowanie jego fizjonomii przyrodniczej.

### Aspekty paradyneamiczne i paragenetyczne poziomej struktury krajobrazów krasowych

Tak jak w przypadku powiązań wertykalnych, lateralne potoki materialno-energetyczne w KK łączą jego elementy strukturalne (geokompleksy) w paradyne-

amiczne i paragenetyczne całościowe utwory funkcjonalne. Za przykłady takich układów (geosystemów) paradyneamicznych czy paragenetycznych mogą służyć następujące pary: lej krasowy oraz jego otoczenie, ślepa dolina krasowa (z ponorem) i areał powierzchniowy, który ona drenażuje itp. Jedność funkcjonalna utworów paragenetycznych jest determinowana ukierunkowanymi potokami materialno-energetycznymi, łączącymi dynamicznie elementarne homogeniczne jednostki geokompleksowe w heterogeniczne systemy paradyneamiczne (paragenetyczne).

### POWIĄZANIA WERTYKALNEJ I HORYZONTALNEJ STRUKTURY KRAJOBRAZÓW KRASOWYCH

Struktura krajobrazów krasowych, zarówno pionowa jak i pozioma, w pierwszym przypadku zasadniczo, a w drugim – znacząco, różni się od struktury krajobrazów niekarstowych. Cechują ją ściśle powiązania funkcjonalno-dynamiczne, w tym paradyneamiczne i paragenetyczne, geokomponentów, geokompleksów oraz podsystemów.

Oczywiście, przedstawienie paradyneamicznych (paragenetycznych) geosystemów KK odrębnie – dla struktury wertykalnej i dla struktury horyzontalnej – ma charakter nieco umowny. W rzeczywistości funkcjonują one jako przestrzenna całość. Lej krasowy

wraz ze zlewnią można rozpatrywać jako system paragenetyczny w strukturze lateralnej KK, ale też jako element powierzchniowy pionowego systemu paragenetycznego, którego drugim członem jest próżnia podziemna (jaskinia) drenująca lej. Bardziej prawidłowe jest łączenie próżni podziemnej, lej nad nią oraz zlewnię leja w jeden – integralny i „kompletny” – krasowy nadziemno-podziemny system paradynamiczny (paragenetyczny), ponieważ wszystkie jego elementy funkcjonalne ściśle współdziałają i cechują się wzajemnym uzależnieniem genetycznym.

Również większe formy krasowe, np. duży lej z osuwiskami na zboczach lub ślepą dolinę krasową, kończącą się ponorem, należy rozpatrywać jako powierzchniowy człon systemu paradynamicznego, którego częścią podziemną jest system jaskiniowy kształtowany przez potok zanikający w ponorze. Dążąc tym tropem indukcyjnym, również sam krajobraz krasowy w całości można rozpatrywać w kategoriach mega-geosystemu paradynamicznego (paragenetycznego), składającego z dynamicznie i genetycznie połączonych części podziemnej i powierzchniowej.

Reasumując, specyfika systemowa krajobrazu krasowego jest determinowana szczególnym składem jego jednostek strukturalnych (wzbogacenie jednostkowe spektrum geokomponentowego i geokomplexowego) i osobliwościami przestrzennymi ich ułożenia (piętrowość), a także specyficznym – krasowym – sposobem ich wzajemnego oddziaływania, ujawniającego się w powstawaniu swoistego – krasowego typu geosystemowych utworów paradynamicznych (paragenetycznych).

## ZWIĄZKI KRAJOBRAZU KRASOWEGO Z OTOCZENIEM

Krajobrazy krasowe, jak również niekrasowe, w ujęciu całościowym są otwartymi geosystemami dynamicznymi, związanymi wymianą materialno-energetyczną ze swoim otoczeniem. Charakter relacji krajobrazów krasowych z krajobrazami sąsiadującymi uzależniony jest w dużej mierze od położenia hipsometrycznego KK w stosunku do obszarów otaczających. Na przykład, górowanie nad otoczeniem (położenie autochtoniczne w terminologii JAKUCSA, 1979) sugeruje przeważnie jednokierunkowe (od strony KK) oddziaływanie krajobrazu na swoje otoczenie<sup>8</sup>. W takim przypadku otoczenie praktycznie nie wpływa na kształtowanie krajobrazu (z wyjątkiem czynnika kli-

<sup>8</sup> Dobrym przykładem podobnych sytuacji mogą być wyżyny lub masywy górskie i płaskowyże krasowe, górujące nad otoczeniem. Często występują w regionie śródziemnomorskim.

matycznego) i w jego rozwoju decydujący udział mają procesy samorozwoju. Z kolei KK w dużej mierze determinuje procesy zachodzące w jego otoczeniu (np. nawadnianie obszarów przez źródła krasowe u podnóża masywów górskich).

Przy allogenicznym usytuowaniu KK (na poziomie lub poniżej otoczenia – co zdarza się rzadko) staje się on odbiornikiem oddziaływań zewnętrznych. Potoki materialno-energetyczne w dużej mierze, czasami decydująco, wpływają na kształtowanie KK, np. na charakter i stopień krasowienia. W przypadku położenia tranzytowego, krajobraz krasowy, z jednej strony, przyjmuje ukierunkowane oddziaływanie wyżej położonych obszarów niekrasowych, z drugiej zaś – sam znacząco oddziałuje na krajobrazy położone niżej, przy czym potoki materialno-energetyczne, tranzytowo przenikające przez KK, ulegają znacznej transformacji, zarówno pod względem jakościowym (np. ilość wypływających wód), jak i jakościowym (ich skład chemiczny).

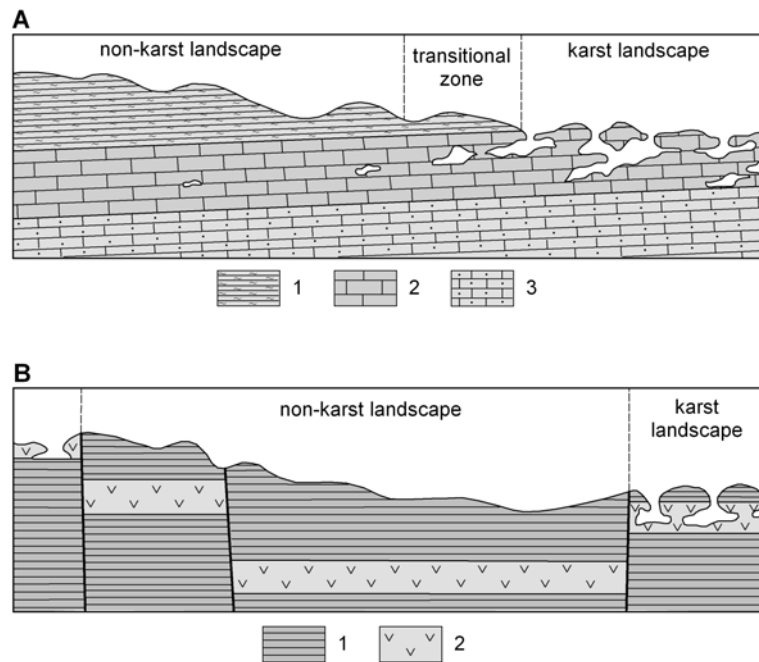
Granice pomiędzy krajobrazami krasowymi i niekrasowymi zazwyczaj są wyraźne, czasami nawet ostre. Jest to spowodowane przede wszystkim litologicznie uwarunkowanymi zasadniczymi różnicami morfologicznymi rzeźby krasowej i niekrasowej, decydującymi o fizjografii tych obszarów. Dość często granicom litologicznym serii skalnych, szczególnie w górach, towarzyszą granice tektoniczne (uskoki). Wtedy granice między krajobrazami, podkreślone geomorfologicznie (skarpy plateau krasowych i kuest), mają charakter liniowy (rys. 6-A). Na obszarach równinnych czy wyżynnych o monoklinalnym zaleganiu serii krasowięjących i ich „zanurzaniu się” pod osady niekrasowe, granica pomiędzy KK i KN zazwyczaj nabiera charakteru przejściowego (rys. 6-B). W planie przybiera ona postać wijącej się krzywej, odzwierciedlającej nierównomierną, erozyjnie uwarunkowaną zmianę miąższości pokrywy, izolującej serię krasową od powierzchni.

## FUNKCJONOWANIE I ROZWÓJ KRAJOBRAZU KRASOWEGO

### Funkcjonowanie

Funkcjonowanie każdego krajobrazu jako geosystemu to integralny, złożony, cykliczny, nieustanny, zsynchronizowany itp. proces wymiany materii, energii oraz informacji pomiędzy jego składnikami (geokomponentami, geokompleksami, podsystemami itp.). Funkcjonowanie krajobrazu krasowego jest niezwykle złożone. Tak jak w krajobrazach niekrasowych, jest ono determinowane strukturą całego geosystemu (liczbą elementów i charakterem ich powiązań) oraz proce-





Rys. 6. Wybrane przykłady granic pomiędzy krajobrazem krasowym a niekrasowym:  
 A – niewyraźna, przejściowa granica (przypadek monoklinalnego zalegania serii krasowiejącej): 1 – utwory niekrasowiejące (terrygeniczne) pokrywające serię krasowiejącą, 2 – skały krasowiejące, 3 – utwory niekrasowiejące (piaskowce), podścielające serię krasowiejącą; B – wyraźna, ostra granica (tektonicznie uwarunkowana); 1 – utwory niekrasowiejące, 2 – skały krasowiejące

Fig. 6. Selected examples of borders between karst and non-karst landscapes:

A - transitional border (an example of monoclinial bedding of karst series): 1 - non-karstic formations (terrigeneous) covering the karst series, 2 - karst rocks, 3 - non-karstic formations (sandstones), underlying the karst series; B - „sharp” border (tectonically determinate); 1 - non-karstic formations, 2 - karst rocks

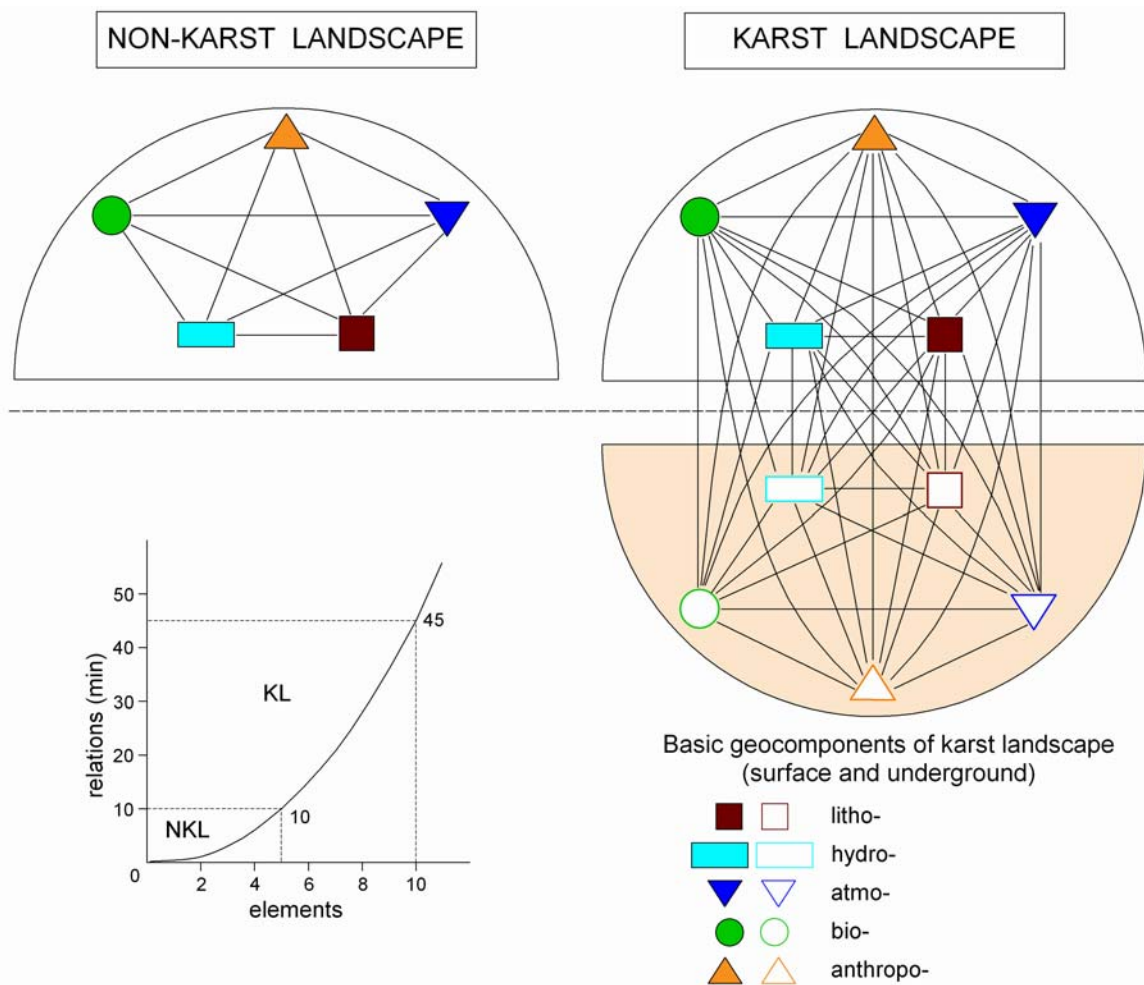
sami zachodzącymi zarówno w samym systemie, jak i w jego otoczeniu. Struktura KK jest jednak bardziej złożona od struktury KN. Ze względu na obecność podsystemu podziemnego z własnym zbiorem geokomponentów oraz objętościowość całego systemu, ogólna ilość wewnętrznych powiązań w KK, jak i w ogóle – cała jego funkcjonalna przestrzeń – jest kilkakrotnie większa, aniżeli w NK. Struktura KK wyróżnia się również dużym udziałem powiązań wewnętrznych, przede wszystkim pionowych.

Główną osobliwością funkcjonalną KK, jego istotą, są wzajemne oddziaływania (wymiana materialno-energetyczna) pomiędzy jego podsystemem nadziemnym a podziemnym. Akurat w piętrowej (naziemno-podziemnej) strukturze KK lokują się najważniejsze przeciwieństwa fizyczno-energetyczne, uruchamiające obiegi materialno-energetyczne pomiędzy elementami jego obu podsystemów. Na przykład, rozwój próżni w podsystemie podziemnym powoduje powstawanie zapadlisk i ponorów przechwytyjących spływ w podsystemie naziemnym. Z kolei, zmiany na powierzchni (wylesienie terenu, kolmatacja ponorów) wpływają na przebieg procesów w podsystemie podziemnym (wypełnienie próżni materiałem ilastym lub na odwrót – wmywanie wypełniacza). Aktywność

interakcji pomiędzy dwoma piętrami-podsystemami KK uzależniona jest od ich rozpiętości wysokościowej, aktywności neotektonicznej obszaru, typu krasu (litologicznego, morfogenetycznego, klimatycznego itp.), jego wieku oraz wielu innych czynników i okoliczności.

Strukturę funkcjonalną (model) krajobrazu krasowego pokazano – na najwyższym z możliwych poziomów uogólnienia – na rys. 7. Jest oczywiste, że proporcjonalnie do liczby elementów systemu krajobrazowego (w tym przypadku tylko genetycznych bloków elementów) wzrasta liczba funkcjonalnych powiązań między nimi, przy czym wzrost ten ma charakter wykładniczy. To jeszcze raz pokazuje, jak złożona jest struktura funkcjonalna KK w porównaniu z KN. Okoliczność ta musi być brana pod uwagę, zarówno przy badaniach KK, jak i przy realizowaniu różnych projektów gospodarczych w ich obrębie.

Złożoność strukturalna KK, jakościowe zróżnicowanie jego elementów i powiązań, wysoki potencjał energetyczny, determinowany piętrowością, sugerują wyższą aktywność funkcjonalną KK w porównaniu z KN znajdującymi się w podobnych warunkach geomorfologicznych i klimatycznych.



Rys. 7. Funkcjonalna struktura (modele ogólne) krajobrazów niekarstowego i krasowego wraz z wewnętrznymi powiązaniem ich elementów bazowych. Różnica pomiędzy strukturami będzie jeszcze większa, jeżeli weźmiemy pod uwagę powiązania bazowych elementów struktur ze środowiskiem – otaczającym systemem; NKL – krajobraz niekarstowy, KL – krajobraz krasowy

Fig. 7. The functional structures (models) of the non-karst and karst landscapes and the internal relationships (minimal number) between their elements (for comparison). the contrast between the structures will be even sharper when the external relations of the landscapes with their environment are taken into consideration. NKL – non-karst landscape, KL – karst landscape

Oprócz zróżnicowania jakościowo-substancjonalnego elementów KK (fizycznego, chemicznego, agregatowego), w jego funkcjonowaniu duże znaczenie mają różnice przestrzennej lokalizacji elementów strukturalnych w stosunku do czynników zewnętrznych, transformujących i stabilizujących system krajobrazowy: system nadziemny KK jest ściślej związany z „egzo-otoczeniem” KK, a podziemny – z jego „endo-otoczeniem”. Podsystem nadziemny bezpośrednio przyjmuje oddziaływanie czynników środowiska zewnętrznego (promieniowanie słoneczne, opady, wpływy antropogeniczne), a podziemny – oddziaływanie czynników środowiska wewnętrznego (wahania wód podziemnych, zapadanie się stropu próżni, akumulacja gazów itp.). Zatem każdy z podsystemów pełni do pewnego stopnia rolę buforową oraz transfor-

macyjną w stosunku do oddziaływań zewnętrznych (od góry) i wewnętrznych (od dołu). To powoduje pewne opóźnienia w reagowaniu podsystemu podziemnego na wydarzenia w podsystemie nadziemnym i na odwrót, czyli mamy do czynienia z pewną funkcjonalną asynchronizacją wydarzeń w podsystemach strukturalnych KK. Klasycznym przykładem ilustrującym tę tezę może być reakcja krajobrazu krasowego na gwałtowne opady. Na początku oddziaływanie przyjmuje na siebie nadziemny podsystem KK (filtracja wód opadowych przez strefę epikrasową, gromadzenie się wody w potokach przed ich zanikaniem w ponorach). Dopiero po kilku godzinach (czasami dniach) ma miejsce wyraźny wzrost poziomu wód pod ziemią lub ich koncentrowanie się w podziemnych rzekach, czyli w podsystemie podziemnym.

Zatem oddziaływanie czynnika opadowego odbija się w całym systemie, lecz w mechanizmie reagowania na oddziaływanie czynnikowe podsystemy KK działają asynchronicznie. Zjawisko asynchronizacji podkreśla pewną funkcjonalną autonomię nadziemnego i podziemnego podsystemu KK, co ma duże znaczenie w formowaniu się mechanizmów jego dynamiki i stabilizacji.

## Dynamika i stabilność

Pod pojęciem dynamiki krajobrazu zwykle rozumie się zmiany występujące w nim pod wpływem zarówno czynników wewnętrznych (interakcje elementów), jak i zewnętrznych (interakcje krajobrazu z otoczeniem). Zmiany te zasadniczo nie naruszają struktury krajobrazu i mogą mieć charakter zarówno nieodwracalny, jak i odwracalny. Zmiany nieodwracalne są związane przeważnie z procesami geodynamicznymi (erozją, sływem powierzchniowym), natomiast charakter odwracalny mają na ogół zmiany cykliczne (dobowe, sezonowe itp.) albo zmiany regeneracyjne, związane z oddziaływaniem czynników naturalnych (pożary, powodzie) czy antropogenicznych (wypalanie lub wycinanie lasów, nawadnianie-osuszanie obszarów). Jednak z upływem czasu, zachodzące w krajobrazie zmiany stają się coraz bardziej zauważalne (las wzrasta, zwiększa się miąższość pokrywy glebowej, pogłębiają się doliny rzeczne, rozgałęziają się wąwozy itp.), szczególnie w przypadku występowania zjawisk katastrofalnych (osuwiska, obwały, duże powodzie, trzęsienia ziemi).

Krajobrazy krasowe cechuje na ogół podwyższony dynamizm (zmiennosc), który jest bezpośrednim następstwem jego wysokiej aktywności funkcjonalnej, wynikającej z interakcji podsystemów krajobrazu. W KK funkcjonuje jak gdyby druga, dodatkowa baza erozyjno-denudacyjna (czy wręcz różnopoziomowe bazy), w postaci próżni podsystemu podziemnego. Co najmniej podwaja ona aktywność procesów zachodzących w krajobrazie. Dynamizm KK jest wielokrotnie potęgowany również przez fakt, że każdy system jaskiniowy, drenujący powierzchnię czy też odrębna próżnia podziemna z zapadliskiem nad nią, stanowi swego rodzaju lokalną bazę erozyjną, co różnicuje terytorialnie ten dynamizm oraz sprzyja lokalizowaniu się (rozpraszaniu) i względnej autonomizacji zachodzących w systemie krajobrazowym zmian. Wszystko to nie oznacza jednak, że KK zmienia się fizjonomicznie (od zewnątrz) szybciej niż KN. W silnie skrasowiałych krajobrazach o rozwiniętym podsystemie podziemnym czy krajobrazach o nagim krasie, aktywne zmiany (wraz z wodą – głów-

ny czynnikiem zmian) przemieszczają się pod ziemię.

Rozproszenie zmian w KK, związane z obecnością dużej liczby dynamicznie „niezależnych” elementów (lejów z ponorami, ślepych dolinek) czyni dynamikę krajobrazu (w całości) nieco bardziej równomierną przestrzennie w porównaniu z KN, gdzie najbardziej aktywne zmiany wyraźnie skupiają się w obrębie głębszych dolin rzecznych, pozostawiając oddzielające je powierzchnie wododziałowe w stanie pasywnego dynamizmu w dłuższych odcinkach czasu.

Podobnie jak w krajobrazach niekrasowych, stabilność KK uzależniona jest od powiązań materialno-energetycznych pomiędzy jego elementami (geokomponentami), ale i – co wyróżnia KK – pomiędzy podsystemami podziemnym i naziemnym. W krajobrazie krasowym elementy podsystemu naziemnego są ściśle związane nie tylko ze sobą, ale i z odpowiednimi elementami podsystemu podziemnego, formując złożoną objętościową (przestrzennie) i metachroniczną (czasowo) strukturę dynamiczną. Złożoność strukturalna systemu, porównywalna ze złożonością jego otoczenia jest, jak wiadomo, warunkiem jego stabilności, czyli zdolności zachowywania stanu równowagi dynamicznej podczas oddziaływań zewnętrznych na system (lub powracaniu do niej). W krajobrazie krasowym warunek ten nie tylko jest spełniony, ale występuje nawet „z nawiązką” – ze względu na obecność podsystemu podziemnego oraz nadziemno-podziemnych powiązań wewnątrzsystemowych.

Generalnie, złożoność strukturalna KK determinuje wyższy, w porównaniu z KN, poziom jego stabilności (jako całości)<sup>9</sup>, a specyfika struktury (piętrowość) – specyfikę mechanizmu(ów) stabilizacji. Oddziaływanie czynników zewnętrznych na system KK – od góry czy od dołu – jest zawsze buforowane przez naziemny lub podziemny jego podsystem, zmniejszający ich destruktywny wpływ (buforowy mechanizm stabilizowania KK). Dla podsystemu naziemnego buforem chroniącym go przed oddziaływaniami oddolnymi (np. wyziewy gazowe, promieniowanie) jest podsystem podziemny i na odwrót: podsystem podziemny chroniony jest przez naziemny przed oddziaływaniem czynników egzogenicznych (wahań temperatury, bezpośredniego wpływu promieniowania słonecznego, opadów, śniegu itp.).

Jednocześnie, strukturalna przepuszczalność (szczelinowatość, kawernistość, próżnie i kanały) oraz prze-

<sup>9</sup> Nie należy mylić stabilności krajobrazu z jego trwałością (w czasie) czy niezmiennością fizjonomiczną. Chodzi przede wszystkim o zdolność KK do zachowywania „na bieżąco” swego stanu i struktury w obliczu oddziaływań zewnętrznych, o mniejszą podatność na działanie czynników destruktywnych, mogących, na przykład, radykalnie zmienić krajobraz niekrasowy w czasie jednego oddziaływania, na przykład powodziowego.

strzenne powiązania podsystemów KK (szczeliny, ponory, zapadliska, studnie, otwory jaskiń) determinują zdolność KK do pochłaniania i przepuszczania przez siebie szkodliwych oddziaływań (np. zanieczyszczenia) lub gromadzenia obcej materii – bez szczególnej szkody dla całego systemu. Wchłaniając zanieczyszczenia przez szczeliny i ponory, podsystem nadziemny zachowuje, w odróżnieniu od KN, swoją czystość. Czasami odbywa się to kosztem zanieczyszczenia podsystemu podziemnego, ale częściej ten ostatni, wskutek wysokich zdolności przepuszczalnych swoich kolektorów, w dość krótkim czasie również uwalnia się od zanieczyszczających go substancji. Sprzyja temu zazwyczaj obfitość wody w kolektorach krasowych, będąca pochodną ich objętości oraz często turbulencyjnego charakteru ruchu wody pod ziemią (w podziemnych rzekach). Na tym polega adaptacyjny mechanizm stabilności KK w stosunku do oddziaływań zewnętrznych.

Oba podsystemy mogą również działać zespołowo na korzyść całego krajobrazu. Przykładem tego typu działań, a zarazem jeszcze jednego – absorpcyjnego – mechanizmu stabilizacji w KK mogą być powodzie w dolinach rzecznych. W krajobrazach niekrasowych niekiedy dochodzi do znacznego (5–10 m, a nawet więcej) wzrostu poziomu wody w rzekach, co nie tylko powoduje ogromne straty gospodarcze, ale też intensywnie zmienia krajobraz naturalny (przebieg koryta, położenie wysp, erozja boczna, osuwiska itp.). Inaczej bywa w KK. Znane są przypadki z obszarów podgórskich i nie tylko, gdzie fala powodziowa, powstała na obszarach niekrasowych, przy wtargnięciu na obszar krasowy ulega „gaszeniu” (obniżeniu), ze względu na przyjmowanie (absorpcję) wód przez próżnie krasowe i skrasowiałe szczeliny w skalistych zboczach dolin.

## Specyfika rozwoju (samorozwoju) i ewolucji

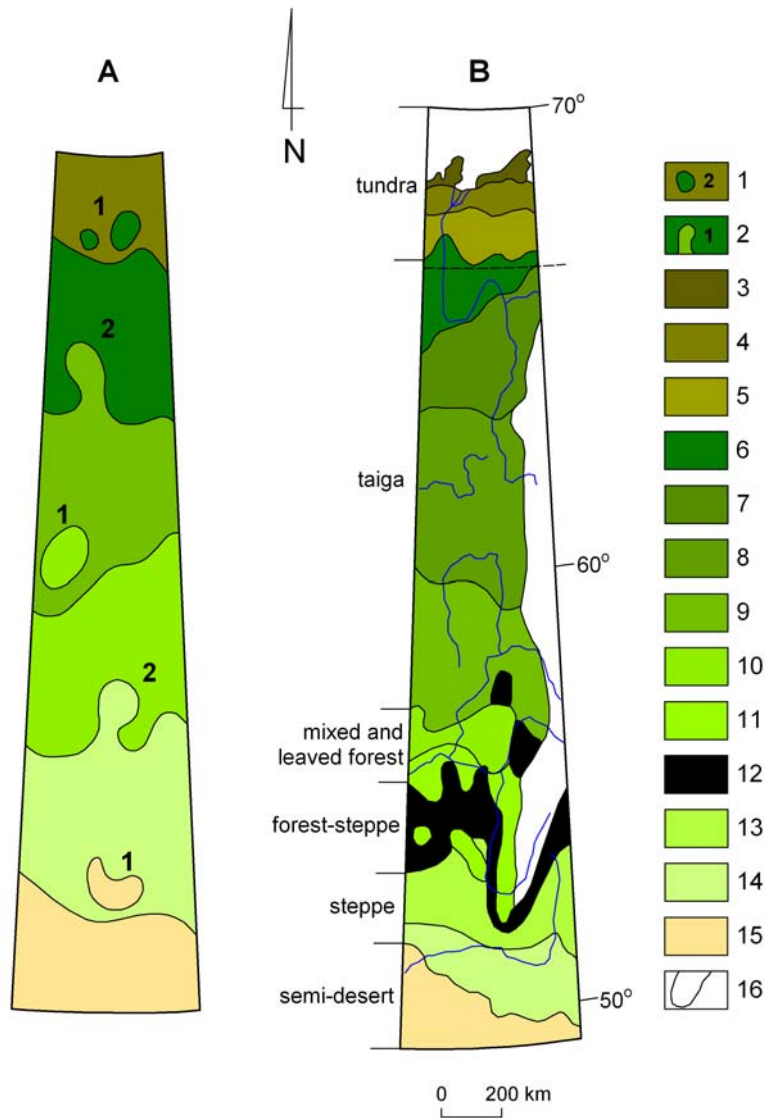
Wiodąca rola wewnątrzsystemowych interakcji pomiędzy elementami (geokomponentami, podsystemami) krajobrazu krasowego, dominacja pionowego wektora oddziaływań i ograniczenie wektora poziomego (w tym z otoczeniem) są podstawowymi przyczynami autonomizacji KK w trakcie jego rozwoju oraz dużego udziału procesów samorozwoju (samoorganizacji) w strukturze czynników rozwojowych KK.

W miarę rozwoju, w którego trakcie nieustannie wzrasta rola wewnątrzsystemowych nadziemno-podziemnych interakcji jego elementów, krajobrazy krasowe coraz bardziej odosobniają się funkcjonalnie (obiegi wewnętrzne), co prowadzi w konsekwencji do ich wyodrębnienia fizjonomicznego na tle otoczenia. Zani-

kanie spływu powierzchniowego powoduje formowanie się krawędzi i skarp na jego obrzeżach. Masywy krasowe przybierają często kształty gór stołowych o skrasowiałej powierzchni (plateau). Powierzchnia ta nie ulega zbyt szybkiemu zniszczeniu przez procesy denudacyjne z powodu natychmiastowego wchłaniania wód opadowych przez studnie i szczeliny. Cała energia mechaniczna wody zostaje zużyta dopiero pod ziemią, podczas koncentracji spływu poniżej buforowej strefy epikrasowej i łączenia się drobnych strumyków w burzliwe podziemne potoki „dziurawiące” wnętrze masywu. W ten sposób krajobraz krasowy jak gdyby konserwuje się od zewnątrz, zachowując swój niezmienny wygląd kosztem destrukcji wewnętrznej (formowania się kanałów i próżni). Geomorfologicznym następstwem tej sytuacji jest spowolnienie obniżenia powierzchni KK na tle otaczających obszarów, w których to właśnie powierzchnia przyjmuje na siebie całkowicie oddziaływanie czynników egzogenicznych, wskutek czego szybszej niszczy się i obniża. Niemniej jednak, intensywność zmian w KK (niewidocznych dla oka – pod powierzchnią gruntu) na ogół jest wyższa, ponieważ woda, będąca w krasie (i nie tylko) głównym krajobrazowym czynnikiem destrukcyjnym, niszczy skałę z podwójną siłą – zarówno chemicznie, jak i mechanicznie.

Ze względu na wiodącą rolę w rozwoju i kształtowaniu fizjonomii oddziaływań wewnątrzsystemowych, krajobraz krasowy staje się mniej zależny, w porównaniu z KN, od swego egzozystemowego (strefowo-geograficznego, sektorowo-klimatycznego itp.) otoczenia. W jego obrębie rozwijają się specyficzne gleby i biocenozy (ekosystemy), znacznie odbiegające od prawidłowych strefowych. Dlatego często mówi się o astrefowych i innych „anomalnych” właściwościach KK, wyróżniających je przyrodniczo na tle stref roślinnych, glebowych itp. Na przykład, ze względu na podwyższoną suchość powierzchni (podziemny drenaż), a często też wyższą temperaturę powierzchni skalnej, w obrębie KK rozwija się bardziej południowa (w porównaniu z otaczającymi formacjami) roślinność i gleby. To powoduje, że wśród krajobrazów tej lub innej strefy roślinnej, w miejscach występowania krasu, pojawiają się enklawy i wyspy z reprezentantami roślin strefy bardziej południowej. Na obszarach krasowych roślinność bardziej południowych stref może przenikać na północ, deformując granice stref i tworząc wyspy w obrębie stref położonych bardziej na północ. Zjawisko to często obserwuje się w obrębie Równiny Wschodnioeuropejskiej (ANDREYCHOUK, 2007), co ilustruje rys. 8.

Ze względu na specyfikę środowiskową oraz „anomalne” właściwości, GVOZDETSKIY (1972, 1977, 1988) proponuje wyróżniać KK w postaci szczegól-



Rys. 8. Przykład deformującego wpływu krasu na równoleżnikowy przebieg stref roślinnych (wycinek południkowy z mapy roślinności Równiny Wschodnioeuropejskiej wzdłuż zachodniego mega-stoku Uralu) (ANDREYCHOUK, 2007): A – schemat abstrakcyjny ilustrujący opisywaną prawidłowość: 1 – „wyspy” bardziej południowych typów roślinności i krajobrazów w obrębie bardziej północnych stref roślinnych, 2 – zdeformowane przez kras (obszary krasowe) granice pomiędzy strefami roślinnymi; B – 3–5 – tundra (arktyczna, mszysto-porostowa oraz krzewinkowa), 6 – lasotundra, 7–9 – taiga (świerkowa, świerkowo-jodłowa, taiga z gatunkami drzew liściastych), 10 – lasy mieszane, 11 – lasy liściaste, 12 – lasostep, 13–14 – step (stepy trawiaste), 15 – półpustynia (step suchy), 16 – Ural

Fig. 8. An example of the deforming impact of karst onto the spatial (zonal) course of vegetation zones (the meridional transect along the Western mega-slope of Ural's Ridge) (ANDREYCHOUK, 2007):

A – 1 – “islands” of the landscape types (karst-derivative) with the features characteristic rather to more southern landscapes occurring within the vegetation zone of a more northern character, 2 – the boundary between vegetation zones deformed by karst (an abstract construction illustrating the rule); B – 3–5 – tundra (arctic, moss-lichen and low-bush tundra), 6 – forest-tundra, 7–9 – taiga (spruce taiga, spruce-fir-tree taiga, taiga with small-size-leaf trees), 10 – mixed (needle-leaf) forest, 11 – broad-leaf forest, 12 – forest-steppe (alternation of broad-leaf forest and grassy steppe), 13, 14 – steppe (coloured and non-coloured feather-grass types), 15 – semi-desert (sagebrush-grass steppe), 16 – Urals area

nego typu krajobrazów, których nie należy zaliczać do żadnego z wydzielonych przez niego strefowych typów genetycznych.

W krajobrazach krasowych znaczna ilość materiału zaangażowanego w lokalny czy ogólnokrajobrazowy obieg materii pozostaje w krajobrazie. Dotyczy to zarówno akumulacji powierzchniowej materiału

(pokrywy rezydualne, trawertynowe tamy i kaskady, jak i podziemnej (chemogeniczne i mechaniczne wypełnienia próżni kasowych). Jest to usprawiedliwione, w różnej co prawda mierze, w krajobrazach krasowych wszystkich stref klimatycznych, chociaż pod tym względem występują pewne różnice jakościowe pomiędzy akumulacją chemogeniczną w kraj-



obrazach „ciepłych” i „zimnych”. W tych pierwszych materiał deponowany jest głównie przez wytrącanie materiału wskutek degazacji czy odparowywania wody, w drugich – w wyniku procesu kriochemicznego (wymrażanie składnika mineralnego). Pozostawanie znacznej ilości materiału w krajobrazie jest jeszcze jedną cechą ewolucyjno-rozwojową, odróżniającą KK od KN. Nie znaczy to jednak, że KK jest bardziej długowieczny od KN: wskazuje jedynie na różnice jakościowe, polegające na transformacji w KK podłoża geologicznego, czego nie ma w krajobrazach niekrasowych.

Zatem, w rozwoju krajobrazów krasowych duże znaczenie (zdecydowanie wyższe niż w przypadku krajobrazów niekrasowych) mają procesy samorozwoju, polegające (i stanowiące ich istotę) na interakcjach pomiędzy podsystemem podziemnym i nadziemnym. Wpływ procesów samorozwoju (samoorganizacji) jest tak znaczący, że powoduje autonomizację, wyodrębnienie, „anomalizację” (jakkolwiek rozumianą) KK wśród innych krajobrazów.

Nie należy jednak marginalizować znaczenia zewnętrznych czynników rozwojowych, czyli kontroli rozwoju KK poprzez system nadrzędny (środowisko). Ich wpływ ma również duże znaczenie, chociaż następstwa tego wpływu uwidaczniają się w krajobrazie w dłuższej perspektywie (ewolucyjnej). Dwie główne grupy czynników kontrolują od zewnątrz (ukierunkowują ewolucyjnie) rozwój KK: klimatyczny (egzogogeniczny) oraz tektoniczny (endogeniczny). Czynniki klimatyczny, pochodny od położenia geograficznego KK (strefowego i hipsometrycznego), wpływa poprzez temperaturę, ilość opadów i czas ich oddziaływania (ciągłość–nieciągłość) na intensywność procesów krasowienia. W warunkach klimatu cieplejszego i bardziej wilgotnego procesy krasowe przebiegają intensywniej, dlatego KK szybciej osiągają dojrzałe (a nawet equifinalne) stadia rozwoju, aniżeli w warunkach klimatu umiarkowanego lub zimnego<sup>10</sup>.

Ewolucyjny wpływ czynnika tektonicznego – ruchów skorupy ziemskiej – na krajobraz krasowy jest również bardzo istotny. Pionowy kierunek ruchów tektonicznych determinuje przebieg całego ewolucyjnego cyklu krasowienia. W przypadku sprzyjających rozwojowi krasu ruchów wypiętrzających mamy do czynienia z normalnym cyklem rozwojowym, kiedy KK ewolucyjnie wyłania się

<sup>10</sup> Klimat nie jest jedyną ani najważniejszą przyczyną zasadniczej różnicy rzeźby obszarów umiarkowanych i tropikalnych. Duże znaczenie mają również warunki paleogeograficzne polegające na tym, że obszary niskich szerokości geograficznych rozwijały się przez miliony lat w o wiele bardziej stabilnych warunkach klimatycznych – bez zlodowaceń czy licznych transgresji mórz, w przeciwieństwie do krajobrazów położonych w strefach umiarkowanych i polarnych.

z megacyklu krasowego (jako stadium) i stopniowo przekształca się w coraz bardziej niezależny i autonomiczny (samoorganizujący się) system krajobrazowy – aż do samozniszczenia. W przypadku stabilizacji lub zmiany kierunku ruchów na obniżające, którym towarzyszy utrata przez rzeźbę energii oddziaływań (degradacja baz erozyjnych), KK zanika, nie realizując swojego potencjału rozwojowego<sup>11</sup>.

Uogólniając czynniki kwestie dynamiki i rozwoju KK można stwierdzić, że czynniki wewnętrzne (interakcje pomiędzy elementami) są ważniejsze w aspekcie kształtowania funkcjonalnej i fizjonomicznej odrębności KK, natomiast czynniki zewnętrzne determinują intensywność oddziaływań elementów wewnątrz krajobrazu oraz określają jego tendencje i możliwości rozwojowe.

## ZAKOŃCZENIE

W artykule zostały omówione bardzo ogólnie, na poziomie wyłącznie konceptualnym, niektóre zasadnicze aspekty systemowe krajobrazu krasowego. Była mowa o pewnym abstrakcyjnym KK, bardzo upraszczając sytuację i nie biorąc pod uwagę dużego zróżnicowania krajobrazów krasowych (nagie, zakryte, równinne, górskie, wysokogórskie, tropikalne, śródziemnomorskie, wapienne, gipsowe itp.). Zdaniem autora, można sobie jednak pozwolić na tak daleko idącą generalizację, ponieważ, bez względu na duże zróżnicowanie, wszystkie KK w zaawansowanym stadium rozwoju mają główny atrybut strukturalny: próżnię podziemną i kanały, formujące specyficzną pionową strukturę krajobrazu. Ta ostatnia z kolei determinuje charakterystyczny przebieg procesów w KK, unifikuje różnice pomiędzy poszczególnymi typami KK i prowadzi do ich wyraźnej specyfikacji wśród innych krajobrazów.

## LITERATURA

Andreychouk V., 2007: Karst as geoecological factor. Sosnowiec-Simferopol: 137p. (in Russian)

<sup>11</sup> Można w tym przypadku snuć rozważania na temat „strat ewolucyjnych”. Na tle rozwoju ewolucyjnego krajobrazów jakiegokolwiek terytorium, stadium krajobrazowo-krasowe (jeżeli w przekroju geologicznym obszaru występują skały krasowijące, a elewacje tektoniczne doprowadzą do ich odsłonięcia) może pozostawić wyraźny ślad ewolucyjny w postaci specyficznych gatunków roślin i zwierząt, które wykształciły się w specyficznym środowisku krasowym. To, że w takim środowisku dochodzi do wyraźnej specjalizacji organizmów i formowania się nowych gatunków (nie tylko pod powierzchnią terenu!), potwierdzają badania ekologów. Liczba endemitów może osiągać w nim kilkanaście procent! (w rezerwacie Tsyngi de Bemaraha na Madagaskarze jeszcze więcej). Bez wątpienia, stadia krasowe w rozwoju różnych obszarów naszej planety w znaczącym stopniu przyczyniły się do rozwoju jej świata organicznego.

- Andreychouk V., 2010: About the approaches to karst study. *Speleology and Karstology*, 4. Simferopol: 5–10. (in Russian)
- Andreychouk V. N., Klimchouk A. B., 2001: Geomicrobiology and Redox Geochemistry of the Karstified Mioocene Gypsum Aquifer, Western Ukraine: The study from Zoloushka Cave. *Geomicrobiology*, 18, 3: 275–295.
- Andreychouk V., Voropai L., 1993: Karst landscape and geosystem. In: *Problems of karst landscapes study*. Perm: 37–52. (in Russian)
- Bella P., 2008: Jaskyne ako prirodne geosystémy. *Geoekologický výskum a enviromentálna ochrana*. Liptovský Mikuláš: 166 p.
- Chikishev A., 1979: *Problems of karst study of Russian Plain*. Moscow University Publish. House, Moscow: 303 p. (in Russian)
- Gergedava B., 1983: *Underground landscapes*. Mecniereba, Tbilisi: 137p. (in Russian)
- Gvozdetskiy N., 1954: *Karst* (2-nd ed.). Geografgis, Moscow: 352 p. (in Russian)
- Gvozdetskiy N., 1972: *Problems of karst study and practice*. Mysl, Moscow: 391 p. (in Russian)
- Gvozdetskiy N., 1977: Karst landscapes and their rank related to karst types. In: *The question of general and regional karstology*. Moscow: 3–23. (in Russian)
- Gvozdetskiy N., 1988: *Karst landscapes*. Moscow University Publish. House, Moscow: 112 p. (in Russian)
- Jakal J., 1986: Krasová krajina ako špecifický prirodny geosystém. *Slovenský kras*, 24: 3–26.
- Jakucs L., 1977: *Morphogenetics of karst regions. Variants of karst evolution*. Budapest: 387 p.
- Miller G., 1974: *Landscape study of mountains and pre-mountains areas*. Vyscha Shkola Publish. House, Lviv: 201 p. (in Russian)
- Vidina A., 1970: About the diagnostic features of landscape and its morphological parts. In: *Landscape Miscellanea*. Moscow University Publish. House, Moscow: 160–181. (in Russian)
- Voropai L., Andreychouk V., 1985: *The peculiarities of karst landscapes as geosystems*. Chernivtsy University Publish. House, Chernivtsy: 81 p. (in Russian)