

Anna Banach

Anna Kozakiewicz

Michał Kozakiewicz

Zakład Zoologii i Ekologii

Instytut Zoologii UW

Krakowskie Przedmieście 26/28

00-927 Warszawa

Krajobraz ekologiczny jako układ ekosystemów wzajemnie na siebie oddziaływających

Ecological landscape as a structure of interrelated ecosystems

Problem kształtowania i ochrony krajobrazu stał się w ostatnich latach jednym z głównych problemów ekologii i pokrewnych jej dyscyplin naukowych. Na doniosłość zagadnienia i jego międzydyscyplinarny charakter zwraca uwagę K a s p r z a k (1977) prezentując podejście do badań krajobrazowych przez różne dyscypliny wiedzy, takie jak geografię fizyczną, geochemię czy wreszcie ekologię.

W ekologii kierunek badań krajobrazowych znajduje się jeszcze na etapie wstępnych rozważań i badań. Nieliczne wypowiedzi i artykuły publikowane dotychczas w Polsce na ten temat wskazują już jednak na pewne kierunki badań i możliwości ich późniejszego zastosowania w praktyce. W. M a t u s z k i e w i c z (1974) traktuje krajobraz jako realną jednostkę ekologiczną o charakterze ponadekosystemowym wskazując jednocześnie na jej dwie podstawowe właściwości: specyficzną strukturę i organizację. G a c k a - G r z e s i k i e w i c z (1976) proponując stworzenie w Polsce Ekologicznego Systemu Obszarów Chronionych (ESOCh) zwraca uwagę na konieczność zachowania integracji wewnętrznej w krajobrazie, podobnie jak w każdej innej jednostce ekologicznej. Wyraża ona pogląd, że kształtowanie krajobrazu należy oprzeć na prawach ekologicznych. J. M. M a t u s z k i e w i c z (1978) wyróżnia poziom krajobrazowy w organizacji roślinności, traktując go jako zintegrowaną jednostkę ekologiczną o charakterze ponadekosystemowym. Zwraca on uwagę na specyfikę struktury przestrzennej roślinności w układach krajobrazowych. A n d r z e j e w s k i (1976) i Gliwicz (wg B a n a c h, K o z a k i e w i c z i L i r o 1977) wskazują na specyfikę oddziaływań funkcjonalnych pomiędzy ekosystemami w krajobrazie.

Definicja sformułowana przez W. M a t u s z k i e w i c z a (1974) określająca krajobraz jako „realną jednostkę o charakterze strukturalno-funkcjonalnych i dynamicznych układów ekologiczno-przestrzennych, obejmującą mniejsze lub większe wycinki biosfery i składającą się z grup ekosystemów powiązanych określonymi stosunkami biocenotycznymi i biotopowymi” może być podstawą do rozważań nad funkcjonalnymi powiązaniem pomiędzy składowymi elementami krajobrazu (ekosystemami).

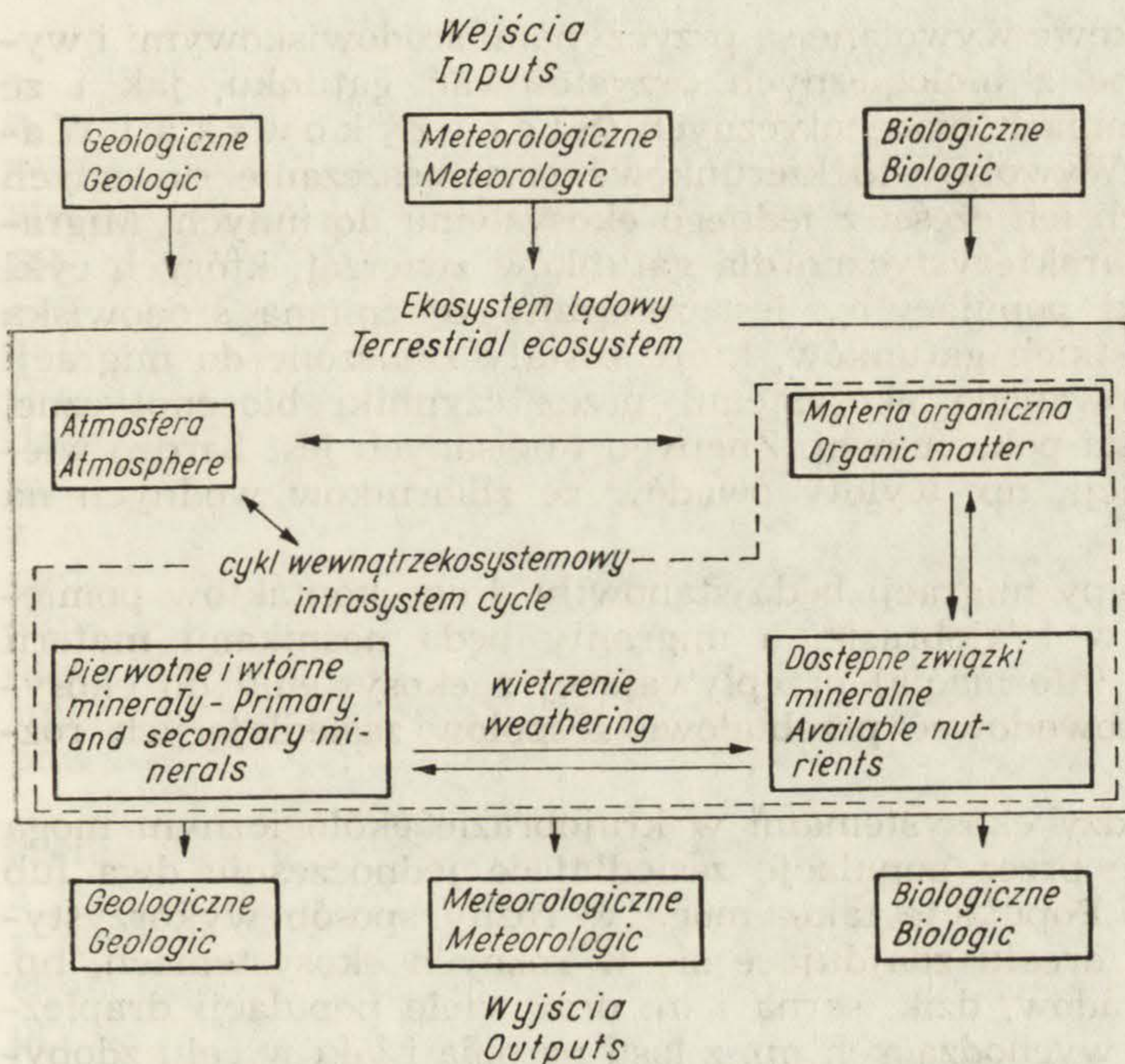
Z definicji tej nie wynika jednak podstawowa, jak się wydaje, różnica pomiędzy krajobrazem a innymi jednostkami ekologicznymi. Należy przypuszczać, że różnica ta spowodowana jest tym, że elementy składowe krajobrazu (ekosystemy) tylko stykają się ze sobą w przestrzeni, a nie przenikają się wzajemnie jak np. areale osobnicze w populacji czy populacje w ekosystemie.

Według *Naumova* (1977) integralną częścią populacji jest środowisko informacyjnie przekształcone przez osobniki wchodzące w jej skład (np. ścieżki zapachowe, nory, gniazda, itp.). Przyjmując tę koncepcję można założyć, że w obrębie populacji zachodzi przenikanie się wzajemne w przestrzeni informacyjnie przekształconych przez osobniki fragmentów środowiska (np. przenikanie się areałów osobniczych). W ekosystemie natomiast przenikanie się w przestrzeni dotyczy całych populacji wraz z informacyjnie przekształconym środowiskiem każdej z nich.

Specyficzna struktura przestrzenna krajobrazu składającego się z sąsiadujących ze sobą (lecz nie przenikających się w przestrzeni) ekosystemów stwarza, jak się wydaje, mniejsze możliwości oddziaływań wzajemnych pomiędzy nimi. Wydaje się, że specyficzny charakter tych oddziaływań obok charakterystycznej struktury przestrzennej może być podstawą do wyróżniania i porównywania poszczególnych krajobrazów między sobą. Rozważając oddziaływania funkcjonalne pomiędzy ekosystemami w krajobrazie *Andrzejewski* (1976) wyróżnił na podstawie cybernetycznej koncepcji zasilania i sterowania dwa typy takich oddziaływań. Pierwszy z nich, nazwany przez *Andrzejewskiego* (1976) zasilaniem, polega na przenoszeniu z ekosystemu do ekosystemu wysokoenergetycznych związków chemicznych i innych substancji. Drugi typ polega na przesyłaniu informacji z ekosystemu do ekosystemu i został nazwany przez *Andrzejewskiego* (1976) sterowaniem. Wydaje się, że wyróżnienie obu typów oddziaływań pomiędzy ekosystemami w krajobrazie zostało dokonane sztucznie w celu pokazania różnych dróg integracji w obrębie jednego krajobrazu. Należy sądzić, że w rzeczywistości o charakterze krajobrazu decyduje współistnienie obu typów oddziaływań między jego składowymi (ekosystemami).

Rozpatrując przepływ związków mineralnych i innych związków chemicznych przez granice ekosystemu (zasilanie) można wyróżnić trzy zasadnicze typy dróg ich wejścia i wyjścia: geologiczną, meteorologiczną (poprzez atmosferę) i biologiczną (*Likens i Bormann* 1975). Wewnątrz ekosystemu związki mineralne mogą występować w każdym z 4 podstawowych elementów: atmosferze, materii organicznej żywej i martwej, w postaci wolnej oraz w pierwotnych i wtórnych minerałach. Atmosfera zawiera wszystkie elementy w formie gazowej zarówno nad jak i pod ziemią. Składnik organiczny zawiera wszystkie związki mineralne wbudowane w żywą i martwą biomasę. Dostępne wolne związki mineralne występują w postaci jonów absorbowanych w kompleksie glebowym albo w postaci rozpuszczonej w wodach glebowych. Pierwotne i wtórne minerały zawierają związki mineralne wbudowane w glebę i skałę. Biogeochemiczny przepływ związków mineralnych polega na ich wymianie pomiędzy różnymi elementami ekosystemu (rys. 1). Charakter tego przepływu może być specyficzny dla różnych ekosystemów.

Wydaje się, że podobny charakter przepływu związków mineralnych może się realizować w grupie ekosystemów, jeżeli ekosystemy te wchodzi w skład jednej zlewni i mają w podłożu jednorodną skałę macierzystą, co decyduje o kierunku przepływu wód. Elementem integrującym w takim zespole ekosystemów będzie jeden wspólny system wodny zapewniający specyfikę przepływu związków mineralnych i innych związków chemicznych w układzie. Wydaje się więc, że według tego kryterium czynnikiem łączącym grupę ekosystemów w krajobraz może być np. geograficzne ukształtowanie terenu, integracja ekosystemów poprzez sy-



Rys. 1. Schemat przepływu związków mineralnych przez ekosystem (Likens i Bormann 1975)

Model for nutrient cycling in ecosystem (Likens and Bormann 1975)

stem wodny, itp., zapewniające specyficzny przepływ materii i energii między ekosystemami w krajobrazie.

Rozważając przepływ informacji przez granice ekosystemu (sterowanie) można przypuszczać, że o integracji ekosystemów w krajobrazie powinna decydować m.in. liczba przesłanych informacji oraz ich jakość. Taki przepływ informacji między ekosystemami w przypadku populacji zwierzęcych może się odbywać przez różnego rodzaju wymianę osobników zachodzącą głównie na drodze migracji¹. Zjawisko to w zależności od przyczyn je wywołujących oraz przebiegu może mieć różne skutki zarówno dla poszczególnych ekosystemów, jak i całego krajobrazu. Migracja wewnątrzpopulacyjna wywołana jest takimi czynnikami, jak struktura i organizacja populacji (Petrušewicz 1965), a jej nasilenie wzrasta wraz ze wzrostem zagęszczenia (Stachurski 1968, Kozakiewicz 1976). Migranty — osobniki o specyficznych cechach (innych niż osobniki osiadłej części populacji) (M. Kozakiewicz i A. Kozakiewicz 1975) mogą przechodzić do innych ekosystemów w obrębie krajobrazu. Powszechnie się sądzi, że migracje takie będą odbywać się głównie od ekosystemu o większym zagęszczeniu do ekosystemu o mniejszym zagęszczeniu populacji. W efekcie z jednego ekosystemu będzie ubywać, natomiast w innych przybywać osobników o specyficznych cechach.

¹ Należy zaznaczyć, że wymiana tego typu będzie się wiązać także z przeniesieniem do innych ekosystemów pewnych porcji materii i energii, a więc będzie miała częściowo charakter zasilania.

Migracje kierunkowe wywołane są przyczynami środowiskowymi i wynikać mogą zarówno z biologicznych przystosowań gatunku, jak i ze zmian w oddziaływaniach biocenotycznych (Stanczykowska i Wasilewski 1963). Wywołuje to kierunkowe przemieszczanie się całych populacji lub dużych ich części z jednego ekosystemu do innych. Migracje tego typu są charakterystyczne dla gatunków zwierząt, których cykl rozwojowy lub cykl populacyjny jest związany ze zmianą środowiska oraz dla tych wszystkich gatunków, które zostały zmuszone do migracji z dotychczas zajmowanego ekosystemu przez czynniki biocenotyczne, np. zmianę zasobności pokarmowej. Znanych i opisanych jest bardzo wiele tego typu migracji, np. wyloty owadów ze zbiorników wodnych na ląd.

W efekcie oba typy migracji będą stanowiły drogę kontaktów pomiędzy ekosystemami w krajobrazie, a migranty będą nośnikami materii i energii (zasilanie, informacja) przepływającej z ekosystemu do ekosystemu, mogącymi powodować przebudowę zespołów zasiedlających rozważane ekosystemy.

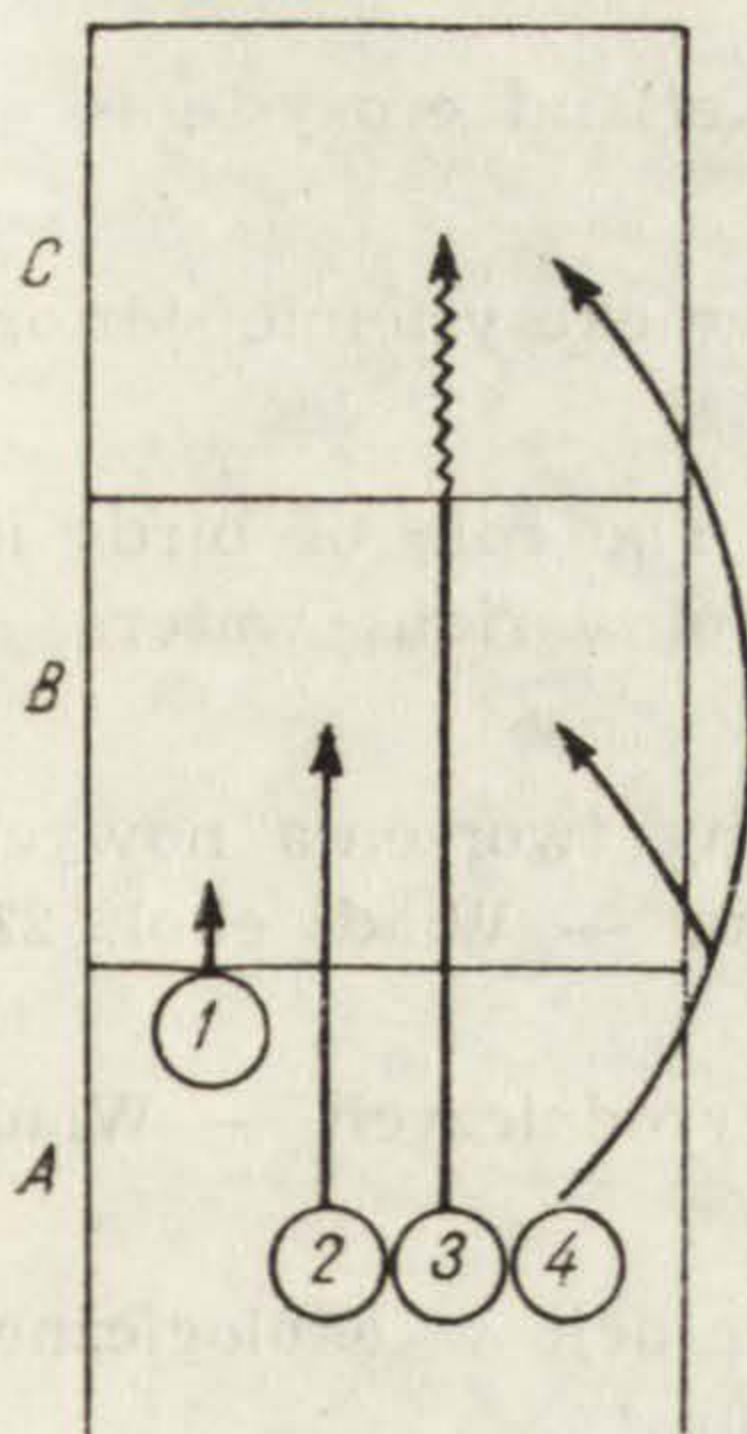
Kontakty pomiędzy ekosystemami w krajobrazie ekologicznym mogą być też realizowane przez populacje zasiedlające jednocześnie dwa lub więcej ekosystemy. Populacje takie mogą w różny sposób wykorzystywać części swojego areалу znajdujące się w różnych ekosystemach, np. wiele gatunków owadów, dzik, sarna i in. oraz wiele populacji drapieżników (ptaki, ssaki) wychodzących np. z lasu na pola i łąki w celu zdobycia pożywienia. Licznych przykładów wykorzystywania wielu ekosystemów przez jedną populację ptaków dostarczają ostatnio w literaturze polskiej prace Dobrowolskiego (1973a, 1973b) oraz Dobrowolskiego, Halby i Nowickiego (1976). Populacje tego typu będą zatem wpływały na strukturę i funkcjonowanie wszystkich zasiedlanych przez nie ekosystemów. Będą one więc również stałym nośnikiem materii i energii pomiędzy tymi ekosystemami (zasilanie, informacja).

Jak już wspomniano, funkcjonowanie krajobrazu jako całości powinno być efektem oddziaływań pomiędzy ekosystemami. Rodzaje tych oddziaływań oraz ich siła zależą prawdopodobnie m.in. od struktury krajobrazu, a więc od rozmieszczenia ekosystemów w przestrzeni, zwłaszcza od typów ekosystemów kontaktujących się ze sobą oraz od ich wielkości. Na zagadnienie to zwróciła uwagę Gliwicz na jednym z seminariów Warszawskiego Klubu Ekologicznego (Banach, Kozakiewicz i Liró 1977).

Ekosystemy będące w późnych stadiach sukcesji ekologicznej, tzn. ekosystemy dojrzałe, charakteryzują się, jak wiadomo, m.in. dużą liczbą wchodzących w ich skład różnorodnych komponentów oraz skomplikowaną siecią zależności i oddziaływań pomiędzy tymi komponentami. W efekcie powinno to dawać stosunkowo dużą stabilność całemu układowi, a co za tym idzie, słabą podatność na bodźce pochodzące z zewnątrz (od innych ekosystemów). Natomiast takie ekosystemy, jak np. pola czy łąki, utrzymywane na wczesnych etapach sukcesji powinny mieć mniejszą zdolność do zachowania homeostazy wewnętrznej, a więc większą podatność na czynniki zewnętrzne, zwłaszcza biocenotyczne. Można zatem wyobrazić sobie, że różne będą efekty oddziaływań na te dwa typy ekosystemów. Ważna jest bowiem nie tylko siła oddziaływania jednego ekosystemu na funkcjonowanie drugiego, ale także podatność jednego ekosystemu na działanie drugiego.

Innym równie ważnym czynnikiem mogącym wpływać na stabilność, a więc i podatność ekosystemu na bodźce z zewnątrz może być, jak się wydaje, jego wielkość. Należy przypuszczać, że im mniejszy jest ekosystem, tym większa jego część poddana może być wpływowi z zewnątrz, pochodzącym np. z sąsiednich ekosystemów. Ponadto zmniejszenie wielkości ekosystemu powoduje zazwyczaj znaczne zubożenie w nim liczby gatunków, które jest nieproporcjonalne do zmniejszenia powierzchni (Preston 1962, Borisov 1970 i Skutch 1971 — wg Willisa 1974). Wydaje się, że zjawisko to może osłabiać homeostazę wewnętrzną ekosystemu. W sumie mały ekosystem może być bardziej podatny na wpływy z zewnątrz niż duży. Należy przypuszczać, że w pewnych przypadkach podatność na wpływy może zależeć nie tylko od bezwzględnej wielkości ekosystemu, ale także od stosunku jego obwodu do powierzchni. Im obwód w stosunku do powierzchni będzie większy, tym dłuższa będzie linia styku ekosystemu z sąsiadującymi ekosystemami i tym silniejsze powinny być oddziaływania z zewnątrz na ten ekosystem.

Wydaje się, że można wyodrębnić cztery podstawowe drogi przenoszenia materii i energii (zasilanie, informacja) przez populacje zwierząt z jednego ekosystemu do innych w obrębie krajobrazu (rys. 2). Pierwsza z nich (rys. 2, sytuacja 1) polega na wychodzeniu osobników ze strefy ekotonowej do jednego bądź obu sąsiadujących z nią ekosystemów. Należy przypuszczać, że tego typu oddziaływania ograniczone są jedynie do stref brzegowych ekosystemu, a więc są stosunkowo słabe, o niewielkim zasięgu. Można sądzić, że w większości przypadków nie powinny mieć one dużego wpływu na zmiany w organizacji i strukturze ekologicznej ekosystemów.



Rys. 2. Hipotetyczne drogi przenoszenia materii i energii (1—4) pomiędzy ekosystemami przez populacje zwierzęce
A—C — kolejne ekosystemy

Hypothetical ways of transmitting matter and energy (1—4) between ecosystems by animal populations
A—C successive ecosystems

Druga z przedstawionych dróg (rys. 2, sytuacja 2) dotyczy migracji całych populacji bądź ich części z jednego do drugiego ekosystemu. Migracje takie mają podłoże w ekologicznej strukturze i organizacji populacji (Petrušewicz 1965), bądź w zmianie warunków życia populacji (zmiany warunków abiotycznych, gwałtowne zmiany w siedlisku, np. zaoranie pola, itp.). Mogą one, jak się wydaje, wywołać istotne zmiany w strukturze i organizacji zarówno ekosystemu, z którego biorą początek, jak i ekosystemów sąsiednich, w których migranci się osiedlają.

W przypadku migracji oraz wędrówek zwierząt na większe odległości, populacje bądź grupy osobników mogą przechodzić przez kilka ekosyste-

mów (rys. 2, sytuacja 3). Oddziaływania przez takie migracje obejmują wtedy kilka ekosystemów i mogą zmieniać strukturę i organizację każdego z nich. Równocześnie informacje „niesione” przez migrandy mogą ulegać przekształcaniu w trakcie przenoszenia ich przez kolejne ekosystemy, wskutek oddziaływań wewnątrz tych ekosystemów.

Ostatnia (czwarta) z możliwych dróg przenoszenia materii i energii pomiędzy ekosystemami dotyczy przemieszczania się zwierząt z ekosystemu do ekosystemu z pominięciem strefy ekotonowej lub całego ekosystemu (rys. 2, sytuacja 4), np. migracje ptaków lub owadów.

Zbadanie struktury krajobrazu oraz typów i siły oddziaływań pomiędzy ekosystemami powinno umożliwić scharakteryzowanie badanego krajobrazu pod względem jego stabilności i stopnia integracji. Ma to duże znaczenie praktyczne zwłaszcza w kształtowaniu krajobrazu. Kształtowanie krajobrazu powinno bowiem polegać na takim działaniu, które w efekcie dałoby duże możliwości homeostatyczne całemu układowi.

Piśmiennictwo

Andrzejewski R. 1976 — Hipotetyczne sposoby interakcji między ekosystemami (W: „Ekologiczne problemy tworzenia nowych typów obszarów chronionych jako formy ochrony środowiska” (dyskusja)) — *Wiad. ekol.* 22: 156—160.

Banach A., Kozakiewicz A., Liro A. 1977 — Z działalności Warszawskiego Klubu Ekologicznego (seminaria 55—57) — *Wiad. ekol.* 23: 420—424.

Borisov W. 1970 — Beiträge zur Klassifikation der Naturschutzgebiete — *Arch. Naturschutz. Landschaftsforsch.* 10: 93—110.

Dobrowolski K. A. 1973a — Role of birds in Polish wetland ecosystems — *Pol. Arch. Hydrobiol.* 20: 217—221.

Dobrowolski K. A. 1973b — Ptaki wodne i ich rola w ekosystemie jeziornym — *Wiad. ekol.* 19: 353—371.

Dobrowolski K. A., Halba R., Nowicki J. 1976 — The role of birds in eutrophication by import and export of trophic substances of various waters — *Limnologica*, 10: 543—549.

Gacka-Grzesikiewicz E. 1976 — Ekologiczne problemy tworzenia nowych typów obszarów chronionych jako formy ochrony środowiska — *Wiad. ekol.* 22: 3—25.

Kasprzak K. 1977 — Pojęcie krajobrazu w naukach przyrodniczych — *Wiad. ekol.* 23: 119—131.

Kozakiewicz M., Kozakiewicz A. 1975 — Rola migracji w ekologicznej strukturze i organizacji populacji — *Wiad. ekol.* 21: 187—200.

Kozakiewicz M. 1976 — Migratory tendencies in population of bank voles and description of migrants — *Acta theriol.* 21: 321—338.

Likens G. E., Bormann F. H. 1975 — An experimental approach to New England landscapes — *Ecol. Stud.* 10: 7—31.

Matuszkiewicz J. M. 1978 — Fitokompleks krajobrazowy — specyficzny poziom organizacji roślinności — *Wiad. ekol.* 24: 3—13.

Matuszkiewicz W. 1974 — Teoretyczno-metodyczne podstawy badań roślinności jako elementu krajobrazu i obiektu użytkowania rekreacyjnego — *Wiad. ekol.* 20: 3—13.

Naumov N. P. 1977 — Biologičeskie (signalnye) polja i ich značenie w žizni mlekopitajuščich (W: Uspechy sovremennoj teriologii) — Nauka, Moskva, 93—110.

Petrusewicz K. 1965 — Dynamika liczebności, organizacja i struktura ekologiczna populacji — Ekol. pol. B, 11: 299—316.

Preston F. W. 1962 — The canonical distribution of commonness and rarity — Ecology, 43: 185—215.

Stańczykowska A., Wasilewski A. 1963 — Przyczyny i przebieg migracji — Ekol. pol. B, 9: 151—161.

Stachurski A. 1968 — Migracja i śmiertelność jako czynniki regulacji zagęszczenia względem zasobności środowiska w populacji *Ligidium hypnorum* (L.) — Ekol. pol. B, 14: 351—355.

Willis E. O. 1974 — Population and local extinctions of birds on Barro Colorado Island, Panama — Ecol. Monogr. 44: 153—169.

Summary

An attempt has been made to characterize the landscape as an integrated ecological unit of a superecosystem character. It has been pointed out that the landscape basically differs from other ecological units such as population or ecosystem. This difference is due to the specific structure of the landscape where the elements forming it (ecosystems) border with one another but do not penetrate one another in space. Also the kind and intensity of interactions among ecosystems depend probably on the distribution of ecosystems in space and on the type of ecosystems bordering together, and on their size and shape. Not only the intensity of interaction of one ecosystem on the functioning of another is important, but the susceptibility of one ecosystem to the influence of the other. Four basic ways of transmitting matter and energy by an animal population from one ecosystem to others have been distinguished (Fig. 2).