

GEOBOTANICZNE WSKAŹNIKI ŚRODOWISKA WYSOKOGÓRSKIEGO

Anna Kozłowska*, Zofia Rączkowska**

* *Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN,
Zakład Geoeologii i Klimatologii, 00-818 Warszawa, ul. Twarda 51/55*

** *Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN,
Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn, 31-018 Kraków, ul. św. Jana 22*

Kozłowska A., Rączkowska Z., 2010, Geobotaniczne wskaźniki środowiska wysokogórskiego, *Czasopismo Geograficzne*, 81(1-2): 21-41.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.02.2010; po recenzji zaakceptowany 15.10.2010.

Streszczenie

W artykule przedyskutowano możliwości i ograniczenia zastosowania poszczególnych typów wskaźników fitoindykacyjnych do diagnozowania środowiska wysokogórskiego, dokonane na podstawie doświadczenia badawczego autorek i literatury przedmiotu. Szczególny nacisk położono na możliwości fitoindykacji w odniesieniu do warunków geomorfologicznych. Jako wskaźniki fitoindykacyjne uwzględniono: gatunki roślin, zbiorowiska roślinne, formacje roślinne i zwarcie pokrywy roślinnej, wskazując jako miary odpowiednio: gatunki wskaźnikowe, gatunki charakterystyczne, ekologiczne grupy gatunków, charakterystyczną kombinację zbiorowisk, zbiorowiska zonalne pięter roślinnych i stopień pokrycia. Stwierdzono, że każdy z omówionych w pracy wskaźników geobotanicznych możliwych do zastosowanie w ocenie wysokogórskiego środowiska abiotycznego ma swoją specyfikę, zalety i ograniczenia. Najwięcej możliwości wskaźnikowych daje zastosowanie zbiorowisk roślinnych, choć wiąże się z nim także szereg ograniczeń, natomiast najprostsza w stosowaniu jest indykacja na podstawie formacji roślinnych i zwarcia pokrywy roślinnej, choć równocześnie dość zawodna, jeśli idzie o poprawne wnioskowanie.

Wstęp

Metody bioindykacyjne jako podstawa interpretacji środowiska fizyczno-geograficznego zyskują coraz szersze uz-

nanie zarówno w celach poznawczych jak i czysto praktycznych: dla rolnictwa, leśnictwa, ochrony przyrody, monitoringu zmian czy planowania przestrzennego [Roo-Zielińska 2004]. Pozwalają one stosunkowo szybko i łatwo uzyskać informacje o cechach środowiska naturalnego jako całości i o poszczególnych jego elementach, w skali lokalnej

* E-mail: a.kozl@twarda.pan.pl

** E-mail: raczk@zg.pan.krakow.pl

czy regionalnej. Ponadto sprawiają, że – zwłaszcza na wstępnych etapach eksploatacji – można znacznie ograniczyć kosztowne i czasochłonne pomiary terenowe. Metody te mogą być szczególnie przydatne w wysokich górach, gdzie prowadzenie badań terenowych jest połączone z dużym wysiłkiem.

Wśród metod bioindykacyjnych ważną rolę odgrywa fitoindykacja geobotaniczna czyli diagnozowanie na podstawie populacji gatunków roślin naczyniowych i zbiorowisk roślinnych. U jej podstaw leży istnienie sprzężeń zwrotnych między elementami układów ekologicznych. Zbiorowiska roślinne odgrywają szczególną rolę w układach ekologicznych rozpatrywanych w wymiarze przestrzennym, gdyż jako ich części składowe są zależne – w mniejszym lub większym stopniu i bardziej lub mniej bezpośrednio – od innych komponentów środowiska. Gdy znamy strukturę tych zależności, interpretując aktualny stan roślinności i zachodzące w niej procesy możemy wnioskować o innych geokomponentach i ich przemianach. Pewnym utrudnieniem takiego wnioskowania jest jednak fakt, że roślinność jest wynikiem działania, „wypadkową”, wielu różnych procesów i uwarunkowań, stąd rzadko jej obserwowany stan jest wskaźnikiem wpływu tylko jednego czynnika.

Fitoindykacja umożliwia diagnozę stanu aktualnie występujących układów ekologicznych oraz diagnozę procesów, które zachodzą pomiędzy nimi współcześnie, w przeszłości lub prognozowanych na przyszłość. Może być ona używana w odniesieniu do zjawisk w różnej skali przestrzennej.

Wskaźniki stosowane w fitoindykacji geobotanicznej zależą od czynnika, który jest przedmiotem diagnozy, a także od rozpatrywanej w konkretnym przypadku skali przestrzennej i czasowej. Innego podejścia i metod wymaga diagnoza małych obiektów, innego zaś dużych obszarów.

Wskaźnikami mogą być:

- (1) według podejścia autekologicznego – gatunki roślin, których zakres tolerancji na warunki siedliskowe jest znany i odpowiednio wąski;
- (2) według podejścia synekologicznego – zbiorowiska roślinne lub ekologiczne grupy gatunków, które są bardziej precyzyjnymi wskaźnikami niż poszczególne gatunki roślin, bo ich zakres tolerancji na warunki środowiska jest zwykle węższy, niż gatunków je budujących;
- (3) według koncepcji form życiowych – formacje roślinne, które są najłatwiej rozpoznawalnymi elementami układów przestrzennych w górach, nie wymagającymi szerokiej znajomości gatunków;
- (4) zwarcie pokrywy roślinnej może być cechą wskaźnikową procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym.

Wszystkie te rodzaje wskaźników mają zalety i ograniczenia. Celem niniejszego opracowania jest przybliżenie geografom możliwości interpretacji danych o roślinności, pochodzących z literatury i samodzielnie dokonywanych obserwacji terenowych, tak, aby można je było wykorzystać jako wskaźniki pomocne w poznaniu środowiska nieożywionego gór wysokich. Punktem wyjścia do oceny zalet i ograniczeń takiego podejścia do diagnozy i interpretacji środowiska wysokogórskiego są doświadczenia badawcze autorek oraz literatura przedmiotu. Ponieważ w środowisku wysokogórskim decydującą rolę odgrywa rzeźba, bardzo urozmaicona i o dużej dynamice procesów, to szczególnie nacisk położony będzie na możliwości zastosowania wskaźników roślinnych w odniesieniu do form i procesów geomorfologicznych, gdyż to one determinują inne geokomponenty (w tym także roślinność) oraz ich zróżnicowanie przestrzenne. Ogromna różnorodność roślinności wysokogórskiej jest w dużym stopniu pośrednim odzwierciedleniem warunków rzeźby, co stanowi podstawę do poszukiwania geobotanicznych wskaźni-

ków form i procesów geomorfologicznych.

Stosowanie metody fitoindykacyjnej wymaga nabycia pewnego minimum wiedzy z zakresu botaniki oraz umiejętności rozpoznawania roślin i typów roślinności, co jest możliwe w czasie studiów w obecnym systemie kształcenia geografów fizycznych. Innym rozwiązaniem jest współpraca z geobotanikiem.

Gatunki wskaźnikowe jako miara nasilenia jednego czynnika

Gatunki roślin naczyniowych są od dawna stosowane jako indykatory środowiska przyrodniczego. Uporządkowane według zmieniającego się nasilenia wybranych ważnych czynników ekologicznych, tworzą skale ekologicznych liczb wskaźnikowych, które dają możliwość oceny oraz porównania cech środowiska abiotycznego bezpośrednio wpływających na rośliny. Skale te, z których najbardziej popularna jest opracowana dla środkowej Europy [Ellenberg 1979, Ellenberg i in. 1991] czy dla Polski [Zarzycki 1984, Zarzycki i in. 2002], służą od wielu lat do oceny warunków glebowych i klimatycznych. Uwzględniają one takie czynniki ekologiczne jak: (1) światło (L) rozumiane jako względna intensywność oświetlenia; (2) temperatura (T) odnosząca się do optimum termicznego gatunków roślin (3) kontynentalizm (K) wyrażający wytrzymałość roślin na wahania temperatury i długotrwałe okresy suszy; (4) wilgotność (F) pokazująca ekologiczną reakcję gatunków w stosunku do wilgotności podłoża w okresie wegetacji; (5) kwasowość (R) świadcząca o wpływie kwasowości podłoża na rośliny; (6) żyzność (N) rozumiana jako ekologiczna reakcja gatunków na zawartość azotu w glebie.

Gatunki wskaźnikowe wyrażają reakcję roślin na istotne dla nich czynniki

ekologiczne, ale ocena przy ich pomocy jest tylko szacunkowa i nie daje się precyzyjnie przełożyć na wartości liczbowe natężenia czynnika fizycznogeograficznego. Brak pełnej korelacji między wartościami liczb wskaźnikowych a danymi glebowymi w niektórych przypadkach wynika z tego, że inne cechy są mierzone a inne indykowane [Schaffers, Sykora 2000, Diekmann 2003].

Konstruowane skale krajowe, na przykład dla Polski [Zarzycki 1984, Zarzycki i in. 2002] czy Szwajcarii [Landolt 1977], różnią się nieco między sobą, jak wykazała Roo-Zielińska [2004, 2009], co może być wyrazem nie tylko specyfiki środowiska przyrodniczego danych obszarów, ale także odmiennych reakcji lokalnych populacji roślin na czynniki ekologiczne, czy różnic metodycznych między autorami. Współcześnie wprowadzane są do skal ekologicznych kolejne elementy, takie jak: zawartość humusu, zwięźłość gleby i jej przewietrzanie, zasolenie, zawartość metali ciężkich. Skale krajowe są weryfikowane i uzupełniane, pojawiają się kolejne ich wersje.

Ekologiczne skale gatunkowe mają powszechne zastosowanie, między innymi, w rolnictwie, leśnictwie, ochronie przyrody, planowaniu przestrzennym, zwłaszcza na obszarach niżowych, gdzie możliwe jest różnorakie użytkowanie ziemi i gospodarka człowieka [Borowiec i in. 1975, Wójcik 1977, 1983, Roo-Zielińska 1982, Roo-Zielińska, Solon 1992, Roo-Zielińska i in. 2007, Solon 2000]. W wysokich górach sprawdzają się one słabiej, bo warunki środowiska abiotycznego są tam na tyle skrajne, że rośliny znajdują się na krańcach możliwości bytowania żywych organizmów i warunki te zwykle są ujmowane w jednej lub najwyżej dwóch kategoriach ze skali danego wskaźnika. Na podstawie liczb wskaźnikowych przyjętych przez Zarzyckiego i in. [2003], których skala wynosi 1–5, wysokogórskie gatunki

roślin naczyniowych Tatr rosną w pełnym świetle ($L = 5$) lub na miejscach przejściowo ocienionych ($L = 4$), na siedliskach zimnych lub umiarkowanie zimnych ($T = 1-2$), ubogich lub umiarkowanie ubogich ($N = 2-3$), świeżych ($F = 3$), a jedynie znacznie rzadziej na suchych ($F = 2$) lub wilgotnych ($F = 4$); w stosunku do kontynentalizmu są neutralne ($K = 3$). Informacja uzyskana na podstawie liczb wskaźnikowych, których zakres odnosi się do całej szerokiej amplitudy ekologicznej siedlisk nie tylko górskich, nie pozwala na ich bardziej precyzyjne zróżnicowanie, czyli nie daje się wykorzystać jako cecha wskaźnikowa dla wysokogórskiego środowiska przyrodniczego. Siedliska te różnią się wyraźnie jedynie kwasowością podłoża (R waha się od 2 – siedliska kwaśne do 5 – zasadowe). To zróżnicowanie, wynikające z budowy geologicznej podłoża, od granitów po wapienie i dolomity, dawno już znalazło wyraz w podziale na rośliny „wapienne” i „granitowe” [Pawłowska 1962, Stecki 1979, Mirek, Piękoś-Mirkowa 1996]. Podobne podziały, według kwasowości podłoża, na rośliny wapieniolubne i acidofilne, stosują także od dawna autorzy skandynawscy [Gjaerevoll 1956, Sandberg 1958, Gjaerevoll, Bringer 1965, Eurola, Virtanen 1991]. Tak więc ze standardowo przyjętych (w postaci liczb wskaźnikowych) ekologicznych skal gatunkowych przydatnych w odniesieniu do niżu, w wysokich górach sprawdza się tylko skala kwasowości, natomiast wiele innych istotnych właściwości środowiska wysokogórskiego nie wchodzi w zakres zainteresowania twórców skal gatunkowych dla danego kraju, gdyż brak ich w niższych położeniach.

W wysokich górach znacznie bardziej istotnym czynnikiem niż te, które uwzględniane są w skalach ekologicznych liczb wskaźnikowych, jest długość zalegania pokrywy śnieżnej. Dla gór Skandynawii Eurola i Virtanen [1991] wyzna-

czyli trzy kategorie gatunków według reakcji roślin na ten czynnik: gatunki chionofobiczne (nie znoszące długiej pokrywy śnieżnej), chionofilne w stopniu umiarkowanym (znoszące średnio długie zaleganie śniegu) i wybitnie chionofilne (zimnolubne gatunki wyleżysk śnieżnych). Podział ten został rozbudowany przez Odlanda i Munkejorda [2008] do dziewięciu kategorii na podobieństwo skali Ellenberga, na podstawie badań w górach południowej Norwegii. Podobne próby były przeprowadzane dla gór Ameryki Północnej [Billings, Bliss 1959, Ostler i in. 1982, Helm 1982] czy dla Tatr [Kozłowska, Rączkowska 1996, 2006], dotyczyły jednak mniejszych obszarów. Wykazały one ciągły charakter reakcji gatunków roślin na długość zalegania pokrywy śnieżnej. Taka gradientowa zmienność elementów środowiska jest cechą charakterystyczną obszarów górskich, a gatunki roślin stanowią tego dobre wskaźniki [Odland 2009].

Gatunki wskaźnikowe roślin na niżu są od dawna wykorzystywane w miejscach intensywnej działalności człowieka, głównie w praktyce rolniczej, do oceny warunków siedliskowych gleb. Nieliczne egzemplarze, na przykład pojedyncze osobniki chwastów pól uprawnych na miedzach, wskazują na zasobność i wilgotność siedlisk nawet przy stosowaniu nowoczesnych środków ochrony roślin eliminujących te chwasty z upraw. W wysokich górach szereg naturalnych zbiorowisk roślinnych budowanych jest przez jeden gatunek dominujący i dopiero przy wysokiej liczebności ma on znaczenie wskaźnikowe dla specyficznych warunków abiotycznych danego miejsca. Przykładowo, gatunek wyleżysk śnieżnych w piętrze subalpejskim, kosmatka brunatna (*Luzula alpino-pilosa*), rzeczywiście wskazuje na długie zaleganie w tym miejscu płata śniegu, jeśli tworzy duży płat zbiorowiska wyleżyskowego. Obecność pojedynczych egzemplarzy kosmatki w murawie piętra

alpejskiego (*Oreochloa distichae*-*Juncetum trifidi*) świadczy jedynie o dość wilgotnym siedlisku, co też jest informacją, ale nie dotyczącą płatów śniegu. Tak więc interpretacja na podstawie pojedynczych egzemplarzy nie zawsze prowadzi do jednoznacznych wniosków. Wyjątek stanowi jednak znalezienie rośliny rzadkiej, niszczonoj ze względu na swą popularność, jak szarotka alpejska (*Leontopodium alpinum*). Dawniej była ona wykopywana do ogródków skalnych i zrywana jako ozdoba – jeśli przetrwała na jakimś stanowisku, to z pewnością na podłożu węglanowym.

Czasami jednak nawet pojedyncze egzemplarze gatunków mogą mieć znaczenie wskaźnikowe. I tak, zaobserwowanie roślin charakterystycznych dla obszarów z podłożem węglanowym na obszarze zbudowanym ze skał krystalicznych wskazuje na następujące różne możliwości pochodzenia jonów zasadowych: (1) dostawę gruzu skalnego w wyniku wietrzenia i odpadania z położonych powyżej ścian skalnych zbudowanych, w całości lub częściowo, ze skał węglanowych, (2) występowanie w obrębie skał granitowych wychodni skał metamorficznych o bardziej zasadowym charakterze, np. mylonitowych, (3) występowanie w podłożu skał węglanowych przykrytych pokrywą złożoną ze skał krystalicznych, np. pokrywą morenową zbudowaną z granitów, łupków metamorficznych, (4) zasilanie wód podziemnych przez wody pochodzące z obszaru zbudowanego ze skał węglanowych.

Z kolei występowanie wysoko w górach przy ścieżkach turystycznych gatunków roślin związanych z człowiekiem, jak pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*) czy babka zwyczajna (*Plantago major*) na zboczach Kasprowego Wierchu, nie pozostawia wątpliwości co do dużego nasilenia antropopresji, gdyż te synantropijne gatunki nie są typowym składnikiem muraw piętra alpejskiego.

Warto tu także nadmienić, że w stosunku do czynnika, jakim jest czas działania różnorodnych procesów rzeźbotwórczych w górach, używane są także specyficzne rodzaje bioindykacji, inne niż omawiana dotychczas fitoindykacja geobotaniczna. Przykładowo, na podstawie gatunków porostów (lichenoidykcji), które powszechnie służą jako wskaźniki jakości powietrza atmosferycznego, w wysokich górach, w obszarze powyżej górnej granicy lasu, można określać wiek form rzeźby za pomocą pomiaru wielkości plech rosnących na nich porostów [Faegri 1933, Beschel 1950]. Najczęściej w badaniach geomorfologicznych wykorzystuje się rosnące w wolnym tempie porosty z gatunku *Rhizocarpon geographicum* [m. in. Beschel 1956, Benedict 1967, Innes 1983, Kotarba 1988, 2001]. Inną stosowaną metodą jest pomiar liczby rocznych przyrostów (słojów) u gatunków drzewiastych wykorzystywanych w dendrochronologicznych datowaniach wielu zjawisk przyrodniczych – klimatycznych i geomorfologicznych, geologicznych i geokologicznych [Zielski, Krapiec 2004]. Metoda ta, bazując na różnych gatunkach drzewiastych, znajduje zastosowanie w badaniach środowiska gór wysokich, głównie w odniesieniu do klimatu oraz rzeźby. Przykładowo, w Tatrach wykorzystano limbę (*Pinus cembra*) [Ermich 1955, Bednarz 1973, 1976] i kosodrzewinę (*Pinus mugo*) [Kaczka 2004] do analiz zmian klimatu. Dendrogeomorfologiczne techniki, oparte w głównej mierze na analizie szerokości sekwencji rocznych przyrostów drewna, stosowano do badań procesów geomorfologicznych w górach od lat 70. XX w. [m. in. Alestalo 1971, Orombelli, Gnaccolini 1972, Potter 1969, Strunk 1989, Denneler, Schweingruber 1993, Pelfini 2006, Pelfini, Santinelli 2006]. W ostatnich latach do określania dynamiki procesów morfogenetycznych coraz powszechniej stosuje się mikroskopową analizę komó-

rek drewna [Gärtner 2003, Gärtner i in. 2001, Bodoque i in. 2005, Hitz i in. 2008].

Zbiorowiska roślinne jako kompleksowy wskaźnik warunków siedliskowych

Całościowa ocena warunków siedliskowych w górach możliwa jest poprzez wykorzystanie informacji zawartych w zbiorowiskach roślinnych, będących podstawowymi jednostkami roślinności o powtarzalnej strukturze przestrzennej i gatunkowej, utworzonymi przez populacje różnych gatunków roślin pozostających ze sobą w różnych zależnościach i wykorzystujących wspólnie wykształcone przez siebie i zoocenozę siedlisko [Faliński 1986]. Zbiorowiska roślinne są najpełniejszym odzwierciedleniem warunków siedliskowych, które determinują szatę roślinną. Amplituda ekologiczna zbiorowisk roślinnych jest większa niż gatunków je budujących, bo obejmuje wspólny dla wszystkich zakres warunków występowania. Identyfikacja przynależności do typów zespołów roślinnych, wyróżnionych na podstawie gatunków charakterystycznych i określonych pod względem wymagań siedliskowych, otwiera możliwość wykorzystania informacji o długości zalegania pokrywy śnieżnej, wilgotności gruntu, warunkach topo- i mikroklimatycznych, trofizmie podłoża, rodzaju i intensywności procesów geomorfologicznych, a także działalności człowieka. Gatunki charakterystyczne, wyróżniane według ujęcia środkowoeuropejskiego stosowanego w Polsce, nie muszą być liczne w danym typie roślinności, ale praktycznie nie występują poza nim. System gatunków charakterystycznych, choć może trudny dla nie-specjalisty, ma ogromną zaletę, gdyż umożliwia wnioskowanie na ich podstawie o warunkach siedliskowych miejsc porastanych przez dany typ roślinności

w całym areale danej jednostki typologicznej, obejmującej często obszar sporej części kontynentu. Stosując zbiorowiska roślinne jako wskaźniki warunków środowiska przyrodniczego wykorzystuje się gatunki charakterystyczne dla jednostek syntaksonomicznych różnej rangi, od klas do zespołów. Nie powstała, jak dotychczas, skala ekologicznych liczb wskaźnikowych, wyrażająca wymagania siedliskowe zbiorowisk roślinnych. W związku z tym informacje dostępne w literaturze geobotanicznej nie dają jeszcze możliwości precyzyjnego zwaloryzowania poszczególnych czynników ekologicznych, jak można by było oczekiwać, zakładając większą amplitudę wrażliwości zbiorowisk niż budujących je gatunków roślin. Jednakże możliwe jest wykazanie różnic między konkretnymi płacami roślinności, określenie natężenia najbardziej istotnych w danym środowisku czynników i charakterystyka głównych geokomponentów.

Diagnoza typów roślinności pozwala ocenić najważniejsze czynniki determinujące roślinność danego miejsca. Najczęściej odbywa się to poprzez waloryzację poszczególnych elementów środowiska abiotycznego w skali trójstopniowej: dużo, średnio, mało lub dwustopniowej: jest, nie ma. Dla przykładu, w Tatrach miejsca długiego zalegania śniegu na podłożu bezwapiennym porastają zbiorowiska wyleżyskowe, zróżnicowane według długości okresu wegetacyjnego na trzy zespoły: zespół kosmatki brunatnej (*Luzuletum alpino-pilosae*) z okresem wegetacyjnym dłuższym niż cztery miesiące, zespół wierzby zielnej (*Salicetum herbaceae*) z okresem wegetacyjnym od trzech do czterech miesięcy i zespół mszysty (*Polytrichetum sexangularis*) z okresem wegetacyjnym od półtora do dwóch i pół miesięcy. To zróżnicowanie typologiczne pozwala na dalsze, bardziej precyzyjne określanie warunków środowiska przyrodniczego miejsc długiego zalegania śniegu. Pomimo że miej-

sca długiego zalegania śniegu cechują podobne warunki rzeźby (są to zwykle różnego kształtu i wielkości zagłębienia terenu lub fragmenty stoku po zawietrznej stronie grani), gdy wzrasta wysokość bezwzględna, wzrasta także częstotliwość występowania określonego typu zbiorowiska. W piętrze subalpejskim zwykle są to wyleżyska z kosmatką brunatną (*Luzuletum alpino-pilosae*) (ryc. 1 a, 1 b), w piętrze alpejskim najczęstsze są wyleżyska z wierzbą zielną (*Salicetum herbaceae*) (ryc. 2), zaś w piętrze subniwalnym wzrasta udział wyleżysk mszystych (*Polytrichetum sexangularis*) (ryc. 3). W związku z dostawą wody z płata śniegu nawet na początku lata siedliska te są w sezonie wegetacyjnym relatywnie wilgotne w porównaniu z otaczającymi je murawami. Na przeciwnym, w stosunku do wyleżysk śnieżnych, krańcu siedlisk wysokogórskich znajdują się zbiorowiska tzw. krzewinek szpalerowych (*Windheiden*; *snowfree exposed mountain heath*) W Tatrach w piętrze subalpejskim i alpejskim na kwaśnych glebach są to wysokogórskie borówczyska bażynowe (*Empetro-Vaccinietum*), które porastają miejsca ekspozowane na wiatr, ze skąpą i najwcześniej zanikającą pokrywą śnieżną oraz suche w sezonie wegetacyjnym (ryc. 4). Przykład wyleżysk śnieżnych i borówczysk bażynowych pokazuje możliwość wnioskowania na ich podstawie o warunkach klimatu lokalnego i mikroklimatu, wysokości n.p.m. i wilgotności.

Podane przykłady dotyczą fitoindykacji siedlisk na podłożu bezwapiennym. Typologia fitosocjologiczna silnie akcentuje zasobność podłoża, w wyniku czego wyleżyska na podłożu węglanowym należą do zupełnie innych zespołów roślinnych oraz innych, wyższych jednostek typologicznych w obrębie klasy *Salicetea herbaceae*, niż te na podłożu skał krystalicznych, jednak także i one w podobny sposób odzwierciedlają zróżnicowanie długości zalegania śniegu.

Znajomość zróżnicowania muraw piętra alpejskiego na zespoły i jednostki niższe – podzespoły, postaci lokalne, formy wysokościowe – w zależności od czynników wymienionych powyżej, a także od stabilności stoków i wpływu człowieka, może być znakomitym całościowym źródłem informacji o warunkach środowiska wysokogórskiego w konkretnym miejscu oraz o różnicach między badanymi powierzchniami. Za wzorcowy przykład opracowania lokalnego, na podstawie którego możliwa jest szczegółowa interpretacja warunków fizycznogeograficznych i wpływu człowieka, może posłużyć monografia roślinności Doliny Pięciu Stawów Polskich [Balcerkiewicz 1984] (tab. 1).

Wykorzystanie specjalistycznego piśmiennictwa fitosocjologicznego do celów indykacji warunków środowiska przyrodniczego gór wymaga jednak przygotowania geobotanicznego ze strony czytelnika, a zwłaszcza znajomości gatunków roślin i umiejętności zakwalifikowania obserwowanych płatów roślinności do odpowiednich zespołów roślinnych. Dużą pomocą służą mapy roślinności w skali szczegółowej, na podstawie których można przygotować szeregi map pochodnych, dających obraz żyzności, wilgotności, długości zalegania pokrywy śnieżnej, klimatu lokalnego, wpływu człowieka czy siedlisk preferowanych przez konkretne gatunki zwierząt. Niektóre elementy środowiska abiotycznego zmieniają się w górach w sposób ciągły, jak na przykład klimat pięter wysokościowych. Zróżnicowanie to można zobrazować przeciwstawiając sobie grupy gatunków charakterystycznych dla jednostek typologicznych (zespołów i jednostek niższej rangi) o różnej specyfice wysokościowej [Kozłowska 2008]. W odniesieniu do pokrywy śnieżnej istotną zależność zbiorowisk roślinnych od długości jej zalegania wykazuje zestawienie mapy roślinności wysokogórskiej z mapą zanikania pokrywy śnieżnej,



Ryc. 1. A – kosmatka brunatna (*Luzula alpino-pilosa*), B – wyleżysko kosmatkowe (*Luzuletum alpino-pilosae*).

Fig. 1. A – tuft of alpine wood-rush (*Luzula alpino-pilosa*), B – alpine wood-rush snow-bedcommunity (*Luzuletum alpino-pilosae*).



Ryc. 2. Wyleżysko wierzby zielnej (*Salicetum herbaceae*).
Fig. 2. Dwarf-willow snow-bed community (*Salicetum herbaceae*).



Ryc. 3. Wyleżysko mszyste (*Polytrichetum sexangularis*).
Fig. 3. Moss snow-bed community (*Polytrichetum sexangularis*).

Tab. 1. Zróżnicowanie muraw z sitem skuciną i boimką dwurzędową (*Oreochloa distichae-Juncetum trifidi*) na podłożu bezwapiennym w Dolinie Pięciu Stawów Polskich [Balcerkiewicz 1984] i ich wskaźnikowa rola.

Nazwa naukowa	Piętro geo-ekologiczne	Zasób informacji o środowisku
postać subniwalna z <i>Oreochloa disticha</i>	subniwalne	klimat: MAAT $< -2^{\circ}\text{C}$, pokrywa śnieżna > 290 dni/rok, wysokość: $> 2150\text{m n.p.m.}$, geologia: podłoże kwaśne
<i>typicum</i> –typowe	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m.
<i>rhacomitrietosum</i> – mszyste	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: dominacja głazów w składzie mechanicznym pokryw stokowych
<i>cetrarietosum</i> – porostowe	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: stok skalny bez pokryw stokowych z półkami skalnymi, procesy eoliczne, wilgotność podłoża: suche
<i>sphagnetosum</i> – torfowcowe	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., Rzeźba: powierzchnia stoku z nabrzmieniami i zagłębieniami, pokrywy słabo przepuszczalne, wody: zasilanie kwaśną wodą (z miejsc wyżej położonych)
<i>salicetosum herbaceae</i> – wyleżyskowe	alpejskie	Klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, płaty śnieżne, okres wegetacyjny 3–4 miesiące, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: nisze niwalne, niwacja
<i>salicetosum kitaibelianae</i> – piargowe	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: stoki, stożki, hałdy gruzowe (piargowe) zacienione, procesy grawitacyjne
postać piargowa z <i>Juncus trifidus</i>	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m. rzeźba: stoki, stożki, hałdy gruzowe (piargowe), procesy grawitacyjne, wilgotność podłoża: sucho
postać szczelinowa z <i>Poa laxa</i>	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: stok skalny ze szczelinami, zacieniony, wilgotność: sucho
<i>caricetosum sempervirentis</i> – powypasowe piętra alpejskiego	alpejskie	klimat: MAAT od 0°C do -2°C , pokrywa śnieżna 250 dni w roku, wysokość: 1670–1800 m n.p.m., rzeźba: stok gładki, dojrzały, pokryty zwartą pokrywą darniową, znaczna miąższość pokryw, brak dużych głazów w pokrywach, wykształcona gleba, duża stabilność (brak erozji)
seminaturalne formy subalpejskie	subalpejskie	klimat: MAAT od $+2^{\circ}\text{C}$ do 0°C , pokrywa śnieżna 215 dni w roku, wysokość: 1500–1670 m n.p.m., antropopresja

MAAT – średnia roczna temperatura powietrza



Ryc. 4. Borówczysko bżynowe (*Empetro-Vaccinietum*).
Fig. 4. Crowberry heath (*Empetro-Vaccinietum*).

wykonaną na podstawie kartowania prowadzonego w określonych, odległych od siebie o kilkanaście dni terminach [Eilenberg 1996]. Podobnie Clark i in [1985] zastosowali mapę roślinności wykonaną na podstawie danych teledetekcyjnych jako wskaźnik grubości pokrywy śnieżnej w obszarach subarktycznych Finlandii. W każdym przypadku oznacza to indykacyjną rolę zbiorowisk roślinnych w określeniu trwałości i grubości pokrywy śnieżnej w górach.

Podjęcia typologiczne w odniesieniu do zbiorowisk roślinnych różnią się szerokością ujęcia jednostek. W typologii środkowoeuropejskiej typy określane są za pomocą charakterystycznej kombinacji gatunków, uzyskiwanej na podstawie danych florystycznych z płatów o zróżnicowanej strukturze, tworzonej przez drobne jednostki, tzw. synuzja. W typologii skandynawskiej [European vegetation types: the Nordic countries 1998] płaty roślinności użyte do badań są znacznie mniejsze, co odpowiada synu-

zjom w ujęciu środkowoeuropejskim. Gatunki charakterystyczne, na podstawie których wyróżnia się typy roślinności, są dominantami w płatach i mają wysoką frekwencję w analizowanym zbiorze danych. Podstawową rolę grają w nich ekologiczne grupy gatunków, które tworzone są przez gatunki roślin o podobnej reakcji w stosunku do jednego lub więcej czynników. Takie grupy gatunków roślin dobrze opisują drobnomozaikową lub pasową strukturę roślinności w wysokich górach.

Z punktu widzenia indykacji warunków siedliskowych gór wyodrębnienie ekologicznych grup gatunków odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż w ich skład wchodzi także gatunki częste i pospolite na danych siedliskach, które nie spełniają formalnych kryteriów gatunków charakterystycznych według środkowoeuropejskiego systemu Brauna-Blanqueta. Grupy te mogą być wyróżniane zarówno dla dużych obszarów jak i dla zupełnie małych, np. nisz niwalnych. System ekolo-

gicznych grup gatunków przedstawił Gjaerevoll [1950] dla roślinności miejsc długiego zalegania śniegu w otoczeniu jeziora Torneträsk; uwzględniał on długość zalegania pokrywy śnieżnej, zróżnicowanie wilgotności i żyzność podłoża. Korelacja gatunków roślin z grubością płata śniegu w niszach niwalnych w Tatrach [Kozłowska, Rączkowska 2006] także daje podstawy do wyznaczenia lokalnych ekologicznych grup gatunków, które pokazują rolę śniegu w tworzeniu się struktury roślinności żlebów i zmienność warunków wilgotnościowych.

Skonstruowanie systemu wskaźników roślinnych dla rzeźby wysokogórskiej jest największym wyzwaniem dla fitoindykacji. Jak dotychczas nie udało się jeszcze opracować dla jednostek rzeźby systemu wskaźników geobotanicznych mającego większy zasięg, niż tylko lokalny. Trudność wynika z ogólnego, nie tylko właściwego dla gór, charakteru związków rzeźby i roślinności, które są zależne od siebie pośrednio – poprzez inne elementy geokompleksów wysokogórskich. Na to nakłada się wysokogórska specyfika roślinności, która tworzy tu często mozaikę małych płatów. Możliwość taka rysuje się poprzez ujęcie krajobrazowe, to znaczy poprzez przypisanie dużym powierzchniom stokowym –

jednostkom morfodynamicznym – charakterystycznych kombinacji typów zbiorowisk roślinnych [Rączkowska, Kozłowska 1994, Kozłowska, Rączkowska, Jakomulska 1999, Kozłowska, Rączkowska, Zagajewski 2006]. Przy takim podejściu pewne ograniczenie stanowi możliwość wyraźnego określenia cech różnicujących jedynie dla obszarów dynamicznie niestabilnych, podczas gdy ustabilizowane stoki mają bogaty zastaw zbiorowisk, wspólny dla różnych typów morfodynamicznych (tab. 2). Przedstawione wyniki wskazują równocześnie, że próby określenia wskaźników roślinnych dla rzeźby są bardziej obiecujące w odniesieniu do procesów geomorfologicznych niż do form rzeźby. W przypadku form rzeźby roślinność może być wskaźnikiem ich cech morfologicznych, czyli takich jak kształt (wypukły, wklęsły), nachylenie czy ekspozycja, ale nie cech morfometrycznych czy morfogenetycznych. Należy jednak dodać, że w odniesieniu do obu elementów rzeźby wskaźniki roślinne są raczej na początkowym etapie konstruowania. Jedynie opracowanie coraz większej liczby wskaźników roślinnych o zasięgu lokalnym może być podstawą stworzenia systemu wskaźników roślinnych dla rzeźby wysokogórskiej.

Tab. 2. Zbiorowiska roślinne jako wskaźniki rzeźby w Kotle Gąsienicowym. Charakterystyka procesów geomorfologicznych: 1 – stok utrwalony kosodrzewiną, 2 – erozja i akumulacja antropogeniczna, 3 – akumulacja w postaci języków spływów gruzowych, 4 – spelzwywanie darni i zwietrzliny po głazach, 5 – soliflukcja, wykształcone terasetki, 6 – soliflukcja, 7 – świeża akumulacja w postaci języków spływów gruzowych, 8 – akumulacja na stożkach i równinie napływowej, 9 – stok stabilny, modelowany przez deflację, 10 – procesy erozji, głównie spłukiwanie i erozja liniowa, 11 – stok stabilny z pokrywą blokową, 12 – spelzwywanie i soliflukcja, 13 – spelzwywanie darni po głazach, 14 – spelzwywanie, 15 – stok nieaktywny; I–V – wskaźniki mocy powiązań roślinności z procesami geomorfologicznymi – waloryzowane.

Zbiorowiska roślinne	Charakterystyka procesów geomorfologicznych (1–15) i wskaźnik mocy (I–V)
zarośla kosodrzewiny	1: V
pionierskie zbiorowisko wilgotnych piargów bezwapiennych	2: V
wyleżyska kosmatkowe i wilgotne murawy	3: IV
kompleks przestrzenny muraw piętra alpejskiego na podłożu bezwapiennym z traworoślami trzcinnikowymi	4: IV
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, postać mszysta	5: III
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, podzespół wyleżyskowy	6: III
wyleżysko kosmatkowe	7: V / 8: III / 9: III
inicjalne stadia roślin zarodnikowych - faza I	10: IV
inicjalne stadia roślin zarodnikowych - faza II	10: III
zbiorowiska porostów naskalnych	11: V
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, postać piargowa	11: IV
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, subalpejska postać powypasowa	12: IV
traworośle trzcinnikowe	12: III
borówczyska bażynowe	12: III
borówczyska czernicowe	13: V
kompleks przestrzenny borówczysk czernicowych z subalpejską postacią muraw piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych	13: IV
kompleks przestrzenny powypasowych muraw piętra subalpejskiego na siedliskach bezwapiennych z borówczyskami czernicowymi	13: III / 14: III
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, podzespół torfowcowy	14: V
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, podzespół wypasowy	14: III
kompleks przestrzenny postaci mszystej muraw piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych z wyleżyskami	14: III / 15: III
antropogeniczne ziołorośla przywotnikowe	15: III
murawy węglanowe piętra alpejskiego, antropogeniczne	15: V
ziołorośla wysokogórskie	15: V
kompleks przestrzenny muraw piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych w postaci mszystej z wyleżyskami kosmatkowymi	15: V
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, podzespół porostowy	15: V
kompleks przestrzenny podzespołu wypasowego muraw piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych z traworoślami trzcinnikowymi	15: V
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, podzespół typowy	15: III
murawy piętra alpejskiego siedlisk bezwapiennych, postać piargowa, antropogeniczna	15: III

Formacje roślinne i stopień zwarcia pokrywy roślinnej

Formacje roślinne wyróżniane są na podstawie form życiowych czyli morfologicznych typów roślin, będących wyrazem ich przystosowań do środowiska. Najczęściej stosowana klasyfikacja form życiowych ma za kryterium położenie pączków odnawiających względem powierzchni ziemi, co ma związek z przystosowaniem do przetrwania niekorzystnych warunków klimatycznych. Zmiana form życiowych wraz ze wzrostem wysokości w postaci wykształcenia się pięter roślinnych (lasów liściastych, lasów iglastych, zbiorowisk krzewiastych, muraw) jest najłatwiej dostrzegalnym wyrazem pięterowości geoekologicznej w górach. Kotarba i in. [1987] podają całościową charakterystykę warunków środowiska przyrodniczego poszczególnych pięter geoekologicznych Tatr. Podobną syntezę informacji o warunkach środowiska przyrodniczego innych masywów górskich można uzyskać na podstawie obserwowanych tam pięter roślinności nawet bez szczegółowej znajomości budujących je gatunków, na przykład przy zastosowaniu metod teledetekcyjnych w obszarach słabo zbadanych i trudno dostępnych.

Obserwowane zaburzenia schematu pięterowości, jak na przykład przecięcie subalpejskiego stoku porośniętego kosodrzewiną i/lub lasem przez trawiaste żleby, świadczą przede wszystkim o dużej aktywności wysokoenergetycznych procesów morfogenetycznych, takich jak lawiny i spływy gruzowe, kształtujących stoki i eliminujących roślinność o zdrewniałych pędach, a nie o różnicach o charakterze klimatycznym (piętrowym). Podobnie płaty muraw naskalnych w piętrach reglowych, fizjonomicznie podobne do muraw piętra alpejskiego, nie świadczą o pięterowości (nie jest to piętro alpejskie), lecz o skalnym podłożu,

które uniemożliwia korzenie się drzew i krzewów.

Zwarcie pokrywy roślinnej, mające związek z typem formacji roślinnej, może być dobrym wskaźnikiem warunków środowiska abiotycznego, choć zależy także od działalności człowieka. Zwłaszcza na nizinach czynnik antropopresji jest najczęściej odpowiedzialny za brak (stały lub sezonowy) pokrywy roślinnej, co związane jest z rolniczym użytkowaniem gruntów lub tak intensywnym wydeptywaniem, że roślinność ulega kompletnemu zniszczeniu. W górach brak lub bardzo słabe zwarcie pokrywy roślinnej może mieć różne przyczyny, przeważają jednak czynniki naturalne. Najważniejsze z nich to niesprzyjające warunki klimatyczne determinujące termiczną granicę występowania roślinności, właściwości podłoża, takie jak trudne do zasiedlenia blokowiska czy obszary intensywnie przekształcane przez procesy morfogenetyczne, zarówno sekularne (np. erozja) jak i katastrofalne, gwałtowne o dużej energii (np. spływy gruzowe).

Poważnym ograniczeniem fitoindykacji na podstawie formacji roślinnych oraz źródłem możliwych błędów w interpretacji jej wyników jest jednak działalność człowieka. Doprowadziła ona do dużych zmian w piętrach leśnych – zawężenia ich pionowych zasięgów lub nawet zupełnego zniszczenia lasów górskich. Przykładem w Europie jest obszar Pirenejów, gdzie wynikiem ingerencji człowieka od tysiącleci jest całkowite wycięcie lasów. Dlatego dominujące formacje roślinne nie są wskaźnikami pięter geoekologicznych w tych górach. Również w Karpatach aktualna górna granica lasu i górna granica subalpejskich zarośli kosodrzewiny są w wielu miejscach obniżone antropogenicznie, zatem ich zasięg nie jest wskaźnikiem zasięgu pięter geoekologicznych. Na przesunięcie granic miało wpływ przede

wszystkim trwające przez wiele wieków pasterstwo.

Na ograniczenie wskaźnikowych zastosowań formacji roślinnych wpływa także turystyka. Jej wpływ przejawia się nie tylko w postaci zupełnego zniszczenia pokrywy roślinnej na szlakach turystycznych, ale także jako lokalne rozrzedzenie struktury płatów roślinności, co stwarza warunki dla rozwoju takich gatunków, które nie rosną w zwartej murawie. Interesującym przykładem jest występowanie w pobliżu kopuły Kasprowego Wierchu, na początku trasy zjazdowej w Kocioł Goryczkowy pod Zakosy, goryczki przezroczystej (*Gentiana frigida*) (ryc. 5), gatunku słabo zwartych muraw piętra subniwalnego. Wyciąganie z tego wniosku, że na wysokości poniżej 2000 m n.p.m. mamy do czynienia z piętnem subniwalnym byłoby oczywiście błędem interpretacji. Przypuszczal-

nie jest to wynik zmniejszenia konkurencji międzygatunkowej na skutek silnej presji narciarstwa, ale problem ten wymaga dalszych badań.

Podsumowanie i wnioski

Każdy z omówionych w pracy wskaźników geobotanicznych możliwych do zastosowanie w ocenie wysokogórskiego środowiska abiotycznego ma swoją specyfikę, zalety i ograniczenia (tab. 3).

Najszerze możliwości wskaźnikowe daje zastosowanie zbiorowisk roślinnych, choć wiąże się z nim także szereg ograniczeń. Podstawowym ograniczeniem jest częsty brak dokładnego zbadania roślinności danego obszaru w postaci opracowania lokalnego, mapy roślinności lub będącego wynikiem współpracy z geobotanikiem. W skali naszego kraju



Ryc. 5. Goryczka przezroczysta (*Gentiana frigida*).
Fig. 5. Gentian (*Gentiana frigida*).

Tab. 3. Ocena zastosowania wskaźników geobotanicznych w środowisku wysokogórskim.

Wskaźnik	Miara	Obiekt indykacji	Zaleta	Ograniczenie
gatunki roślin	gatunki wskaźnikowe	poszczególne czynniki glebowe lub klimatyczne	precyzyjny wskaźnik poszczególnych elementów środowiska abiotycznego	brak wskaźników opracowanych dla istotnych cech środowiska wysokogórskiego; potrzebna współpraca z geobotanikiem
zbiorowiska roślinne	gatunki charakterystyczne, ekologiczne grupy gatunków, charakterystyczna kombinacja zbiorowisk	kompleks czynników siedliskowych	wskaźnik działania kompleksu najważniejszych elementów środowiska abiotycznego, w tym także wskaźnik morfodynamiki stoku	nie pozwala na waloryzację poszczególnych elementów środowiska; słabo różnicuje utrwalone formy rzeźby; pośrednia zależność rzeźba-roślinność; potrzebna współpraca z geobotanikiem
formacje roślinne	zbiorowiska zonalne pięter roślinnych	klimat pięter wysokościowych i zależne od niego inne czynniki abiotyczne	łatwość identyfikacji pięter roślinności	nie uwzględnia zmian antropogenicznych spowodowanych np. wylesieniem, wypasem
zwarcie pokrywy roślinnej	stopień pokrycia	dynamika procesów stokowych, przekształcenia antropogeniczne	łatwość określenia intensywności procesów geomorfologicznych	nie różnicuje obszarów o zwartej roślinności; brak rozróżnienia czynników naturalnych i antropogenicznych

dużą pomocą dla początkujących jest opracowany przez Matuszkiewicza [2006] „Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski”, zawierający prosty, oparty na cechach fizjonomicznych, klucz do oznaczania zbiorowisk. Tę podstawową wiedzę można odnosić do obiektów w różnej skali w zależności od tego, jaką stosujemy miarę. I tak, gatunki charakterystyczne jednostek syntaksonomicznych w ujęciu typologii

szkoły środkowoeuropejskiej mają szerokie znaczenie wskaźnikowe, zarówno lokalne jak i ponadregionalne, ponieważ powstały w wyniku opracowania obejmującego całą Europę. Natomiast system ekologicznych grup gatunków dla obszarów wysokogórskich najlepiej opracowany jest dla gór Skandynawii i tam może być stosowany. Inne masywy górskie wymagają własnych opracowań. Zbudowanie podstaw bioindykacji na poziomie

krajobrazowym za pomocą charakterystycznych kombinacji zbiorowisk roślinnych jest dopiero na etapach tworzenia i testowania możliwości.

Specjalnego opracowania, przygotowanego pod kątem indykacji elementów i czynników środowiska typowych dla wysokich gór, wymaga także system ekologicznych liczb wskaźnikowych, który, jak dotychczas, najlepiej sprawdził się dla obszarów niżowych.

Najprostsza w stosowaniu i oparta na najłatwiej dostępnych danych (np. teledetekcyjnych) jest indykacja na podstawie formacji roślinnych i zwarcia pokrywy roślinnej, choć równocześnie dość zawodna, jeśli idzie o poprawne wnioskowanie.

Należy podkreślić, że roślinność wyraża zmienność warunków środowiska w wielu skalach, od lokalnej, poprzez zróżnicowanie piętrowe i strefowe (np. góry strefy umiarkowanej czy strefy monsunowej) i może być stosowana jako

wskaźnik w bardzo szerokim zakresie, zależnie od potrzeby. Zaletą fitoindykacji jest możliwość szybkiej, chociaż uproszczonej, diagnozy różnych elementów środowiska przyrodniczego, na przykład klimatu czy rzeźby. Jednak utrudnieniem w stosowaniu fitoindykacji rzeźby jest związek tego elementu środowiska z roślinnością za pośrednictwem innych elementów, których zmienność przestrzenna powoduje dużą różnorodność szaty roślinnej w obrębie tego samego typu jednostek rzeźby. Potrzeba zrozumienia tych relacji i współpracy geomorfologów z geobotanikami wynika nie tylko z dążenia do poznania struktury i funkcjonowania środowiska przyrodniczego wysokich gór, gdzie rzeźba stanowi ramy, w których rozwija się roślinność, ale także z możliwości zastosowania tej wiedzy w celach praktycznych, na przykład w ocenie oddziaływania turystyki na przyrodę wysokich gór.

Literatura

- Alestalo J., 1971, *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*, Fennia, 105.
- Balcerkiewicz S., 1984, *Roślinność wysokogórska Doliny Pięciu Stawów Polskich w Tatrach i jej przemiany antropogeniczne*, Seria Biologia UAM, 25, s. 1–91.
- Bednarz Z., 1973, *Badania dendroklimatologiczne nad limbą (Pinus cembra) oraz innymi gatunkami drzew tatrzańskich*, rozprawa doktorska, Instytut Hodowli Lasu, AR w Krakowie.
- Bednarz Z., 1976, *Wpływ klimatu na zmienność szerokości słoju limby (Pinus cembra L.) w Tatrach*, Acta Agraria et Silv., Ser Silverstis, 16, s. 3–33.
- Benedict J.B., 1967, *Recent glacial history of an alpine area in the Colorado Front Range, U.S.A. I.: Establishing a lichen growth curve*, Journal of Glaciology, 6, s. 817–832.
- Beschel R.E., 1950, *Flechen als Altersmasstab rezenter Moränen*, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 1, s. 152–161.
- Beschel R.E., 1956, *Lichenometrie im Gletschervorfeld*, Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und Alpentiere, 22, s. 164–185.
- Billings W. D., Bliss L. C., 1959, *An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity*, Ecology, 40, s. 388–397.
- Bodoque J.M., Diez-Herrero A., Martin-Duque J.F., Rubiales J. M., Godfrey A., Podraza J., Carrasco R. M., Sanz M.A., 2005, *Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorpho-*

- logical analysis of exposed tree roots: two examples from central Spain, *Catena* 64, s. 81–102.
- Borowiec S., Kutyna I., Skrzyczyńska J., 1975, *Przestrzenne rozmieszczenie zbiorowisk chwastów na Pomorzu Zachodnim jako wyraz zróżnicowania warunków siedliskowych*, *Zeszyty Nauk. AR w Szczecinie*, 50, s. 49–62.
- Clark M.J., Gurnell A.M., Milton E.J., Seppälä M., Kyöstilä M., 1985, *Remotely-sensed vegetation classification as a snow depth indicator for hydrological analysis in sub-arctic Finland*, *Fennia* 163, 2, s. 195–216.
- Denneler B., Schweingruber F.H., 1993, *Slow mass movement. A dendrogeomorphological study in Gams, Swiss Rhine Valley*, *Dendrochronologia*, 11, s. 55–67.
- Diekmann M., 2003, *Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review*, *Basic and Applied Ecology*, 4, s. 493–506.
- Ellenberg H., 1979, *Zeigerwerte der Gefäßpflanzenflora Mitteleuropas*, *Scripta Geobotanica*, 9, s. 9–160.
- Ellenberg H., 1996, *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*, Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth V., Werner W., Paulissen D., 1991, *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*, *Scripta Geobotanica*, 18, s. 1–248.
- Ermich K., 1955, *Zależność przyrostu drzew w Tatrach od wahań klimatycznych*, *Acta Soc. Bot. Poloniae*, 24, s. 245–273.
- Eurola S., Virtanen R., 1991, *Key to the vegetation of the northern Fennoscandian fields*, *Kilpisjärvi Notes*, 12, s. 1–27.
- European vegetation types: the Nordic countries*, 1998, Nordic Council of Ministers. CD-ROM.
- Faegri K., 1933, *Über die Längenvariationen einiger Gletscher des Jostedalubre und die dadurch bedingten Pflanzensukzessionen*, *Bergens Museums Arbok, Naturvitenskapling Rekke*, 7, s. 5–255.
- Faliński J.B., 1986, *Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wyzwolonego spod długotrwałej presji antropogenicznej*, cz. 1, *Wiad. Botaniczne*, 30, 1, s. 25–50.
- Gärtner H., 2003, *Holzanatomische Analyse diagnostischer Merkmale einer Freilegungsreaktion in Jahrringen von Koniferenwurzeln zur Rekonstruktion geomorphologischer Prozesse*, *Diss. Bot.*, 378, s. 1–118.
- Gärtner H., Schweingruber F. H., Dikau R., 2001, *Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed tree roots*, *Dendrochronologia*, 19, 1–11.
- Gjaerevoll O., 1950, *The snow-bed vegetation in the surroundings of Lake Torneträsk, Swedish Lapland*, *Svensk Botanisk Tidskrift*, 44, 2, s. 387–440.
- Gjaerevoll O., 1956, *The Plant Communities of the Scandinavian Alpine Snow-beds*, *Det Kgl Norske Videnskabers Selskabs Skrifter*, 1.
- Gjaerevoll O., Bringer K.-G., 1965, *Plant cover of the alpine region*, *Acta Phytogeogr. Suec.*, 50, s. 257–268.
- Helm D., 1982, *Multivariate analysis of alpine snow patch vegetation cover near Milner Pass, Rocky Mountain National Park, Colorado, USA*, *Arctic and Alpine Research* 14, 2, s. 87–95.
- Hitz O. M., Gärtner H., Heinrich I., Monbaron M., 2008, *Application of ash (*Fraxinus excelsior* L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents*, *Catena* 72, 248–258.
- Innes J.L., 1983, *Lichenometric dating of debris-flow deposits in the Scottish Highlands*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, s. 579–588.

- Kaczka R., 2004, *Dendrochronologiczny zapis zmian klimatu Tatr od schyłku małej epoki lodowej (na przykładzie Doliny Gąsienicowej)*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 197, s. 89–113.
- Kotarba A., 1988, *Lichenometria i jej zastosowanie w badaniach geomorfologicznych w Tatrach*, Wszechświat, 89, 1, s. 13–15.
- Kotarba A., 2001, *Lichenometryczne oznaczanie wieku form rzeźby wysokogórskiej*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 179, s. 197–193.
- Kotarba A., Kaszowski L., Krzemień K., 1987, *High-mountain denudational system in the Polish Tatra Mountains*, Geographical Studies IGiPZ PAN, Special issue 3.
- Kozłowska A., 2008, *Strefy przejścia między układami roślinnymi – analiza wieloskalowa (na przykładzie roślinności górskiej)*, Prace Geograficzne.
- Kozłowska A., Rączkowska Z., 1996, *Relacje rzeźba–roślinność w obrębie form niwalnych*, Przegląd Geograficzny, 68, 1–2, s. 168–179.
- Kozłowska A., Rączkowska Z., 2006, *Effect of snow patches on vegetation in the high-mountain nival gullies (Tatra Mts., Poland)*, Polish Journal of Ecology, 54, 1, s. 69–90.
- Kozłowska A., Rączkowska Z., Jakomulska A., 1999, *Roślinność jako wskaźnik morfodynamiki stoku wysokogórskiego*, [w:] A. Kotarba, A. Kozłowska (red.), *Badania geoeekologiczne w otoczeniu Kasprowego Wierchu*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 174, s. 91–104.
- Kozłowska A., Rączkowska Z., Zagajewski B., 2006, *Links between vegetation and morphodynamics of high-mountain slopes in the Tatra Mountains*, Geographia Polonica, 79, 1, s. 27–39.
- Landolt E., 1977, *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*, Veröffentlich. Geobot. Inst. Eidg. Tech. Hochsch. Stift. Rübel, Erich, 64, s. 1–208.
- Matuszkiewicz W., 2006, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., 1996, *Rośliny kwiatowe i paprotniki*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Wyd. TPN, Kraków–Zakopane, s. 275–318.
- Odland A., 2009, *Interpretation of altitudinal gradients in South Central Norway based on vascular plants as environmental indicators*, Ecological Indicators 9, s. 404–421.
- Odland A., Munkejord H.K., 2008, *Plants as indicators of snow layer duration in southern Norwegian mountains*, Ecological Indicators 8, s. 57–68.
- Orombelli G., Gnaccolini M., 1972, *La dendrochronologia come mezzo per la datazione di frane avvenute nel recente passato*, Bolletino Società Geologica Italiana, 91, s. 325–344.
- Ostler, W. K., Harper K. T., McKnight K. B., Anderson D. C., 1982, *The effects of increasing snowpack on a subalpine meadow in the Uinta Mountains, Utah, USA*, Arctic and Alpine Research 14, s. 203–214.
- Pawłowska S., 1962, *Świat roślinny Tatr*, [w:] W. Szafer (red.), *Tatrzański Park Narodowy*, Zakład Ochrony Przyrody PAN, Wyd. Popularnonaukowe, 21, s. 187–239.
- Pelfini M., 2006, *Dendroglaciologia*, Nimbus, 39–40, s. 14–22.
- Pelfini M., Santinelli M., 2006, *Dendrogeomorphological analysis on exposed roots along two mountain hiking trails in the Central Italian Alps*, Geografiska Annaler, Ser. A., 88, 3, s. 223–236.
- Potter N., 1969, *Tree-ring dating of snow avalanches tracks and the geomorphic activity of avalanches, Northern Absaroka Mountains*, Wyo-

- ming, Geological Society of America, Special Paper, 123, s. 141–165.
- Rączkowska Z., Kozłowska A.B., 1994, *Geobotaniczne wskaźniki denudacji stoków wysokogórskich*, Conference Papers IGiPZ PAN, 20, s. 75–85.
- Roo-Zielińska E., 1982, *Struktura geobotaniczna i jej ekologiczno-siedliskowe uwarunkowania terenu przyszłych osiedli mieszkaniowych w Białolecie Dworskiej w Warszawie*, Człowiek i Środowisko, 6, 3–4, s. 403–422.
- Roo-Zielińska E., 2004, *Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizycznogeograficznego. Podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 199.
- Roo-Zielińska E., 2009, *Porównanie europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych w ocenie środowiska fizycznogeograficznego na podstawie charakterystycznych gatunków roślin lasów liściastych z klasy Quercus-Fagetea*, Przegl. Geogr., 81, 3, s. 317–345.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1992, *Phytointindicative evaluation of the natural environment of the Łomianki commune*, Polish Ecological Studies, 18, 3–4, s. 245–254.
- Roo-Zielińska E., Solon J., Degórski M., 2007, *Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, glebowych i krajobrazowych. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań*, Monografie IGiPZ PAN, 9.
- Sandberg G., 1958, *Fjällens vegetationssregioner, vegetationsserier och viktigaste växtekologiska faktorer*, [w:] F. Skunke (red.), Renbeten och deras gradering. Lappväsendet – Renförskningen, Meddelande, 4, s. 36–60.
- Schaffers A.P., Sýkora K.V., 2000, *Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements*, J. Veg. Sci., 11, s. 225–244.
- Solon J., 2000, *Florystyczno-ekologiczna charakterystyka runa w drzewostanach liściastych na SPO II rzędu*, [w:] J. Wawrzoniak, J. Małachowska (red.), Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1999 roku na podstawie badań monitoringowych, Biblioteka Monitoringu Środowiska, GIOŚ, Warszawa, s. 34–47.
- Stecki K., 1979, *Tatry, Seria: Przyroda Polska*, Wyd. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Strunk H., 1989, *Dendrogeomorphology of debris flows*, Dendrochronologia, 7, s. 15–25.
- Wójcik Z., 1977, *Charakterystyka siedlisk polnych na Pogórzu Beskidu Niskiego metodami biologicznymi*, Prace Geogr., 121, s. 1–105.
- Wójcik Z., 1983, *Charakterystyka i ocena siedlisk polnych metodami bioindykacyjnymi*, Wyd. SGGW-AR, Warszawa, s. 47–57.
- Zarzycki K., 1984, *Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski*, Instytut Botaniki PAN, Kraków.
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U., 2002, *Ecological indicator values of vascular plants of Poland (Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski)*, [w:] Z. Mirek (red.) Biodiversity of Poland, 2, Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. Kraków.
- Zielski A., Krąpiec M., 2004, *Dendrochronologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Summary

The geobotanical indicators of high-mountain environment

Bioindicative methods are more and more often regarded as method of diagnosis of natural environment. Phytoindication, using species of vascular plants and vegetation communities as a base, is one of the most important among them. This method applied existence of interdependencies between elements of ecological systems as fundamental assumption. The paper examines application of different phytoindicators in diagnosis of high-mountain environment, especially relief forms and processes. As phytoindicators are used the following features of vegetation: plant species, plant communities or ecological groups of plants, plant formations and density of cover. Each of phytoindicators has their own specificity, advantages and disadvantages. Using plant species as the phytoindicator, indicative plant species are applied as very precise measure for particular elements of natural abiotic environment. However there is a lack of defined phytoindicators for elements of high-mountain environment and cooperation with geobotanist is needed. When plant communities serve as phytoindicator the measures are following: characteristic plant species, ecological groups of plants and characteristic combination of plant communities. Plant communities are good indicator of complex of the most important elements of natural environment, including slope morphodynamic. Yet, it proved impossible to valorize the particular elements and to establish differences between different landforms. Plant formations are marked by zonal plant communities, and therefore its identification is simple. The mistakes in interpretation could be caused by not taking into considerations anthropogenic changes of vegetation. The degree of vegetation cover is other phytoindicator. It expresses well intensity of geomorphological processes, but made difficulties in establishing differences in areas with compact vegetation and between natural and anthropogenic factors. Among all phytoindicators plant communities offer the widest spectrum of indicative possibilities.