

*Jerzy Lechnio**

M. Strzyż (red.), *Perspektywy rozwoju regionu w świetle badań krajobrazowych*
Problemy Ekologii Krajobrazu PAEK,
2004, Kielce, s. 223 - 234
ISBN 83-919881-8-X

Jednostki krajobrazowe jako pola podstawowe oceny zagrożenia środowiska przyrodniczego depozycją substancji zakwaszających

Wstęp

Potrzeby związane z oceną i prognozowaniem efektów oddziaływania kwaśnej depozycji na środowisko doprowadziły do powstania teorii ładunków krytycznych (Nilsson et al., 1988). Opracowane na jej gruncie metody pozwalają na ustalanie reakcji ekosystemów na obserwowany poziom depozycji zanieczyszczeń. Należy jednak pamiętać, że w następstwie przyjętej definicji "ładunków krytycznych", sposób postępowania, którego celem jest określenie progowego poziomu zagrożenia zależy od uprzedniego sprecyzowania podstawowych kryteriów takich, jak (Aherne et al., 2002; de Vries, 1993; Downing, 1993; Hall, 2001, Kennedy et al., 2001; Skeffington, 1999; UBA 1996, Van Der Salm et al. 2001): 1) receptor – ekosystem poddany oddziaływaniom, 2) indykator – określony komponent, proces lub organizm reprezentatywny dla receptora, 3) wskaźnik chemiczny – właściwość chemiczna odnosząca się do indykatora, pozwalająca wnioskować o stopniu ryzyka jego uszkodzenia, 4) wartość krytyczna – najwyższa z możliwych, graniczna wielkość zanieczyszczenia, która może być osiągnięta (dla kryterium chemicznego), niepowodująca w długim horyzoncie czasowym niepożądanych zmian

w strukturze i funkcjonowaniu indykatora - ekosystemu.

W sensie operacyjnym termin receptor (ekosystem) nie odnosi się w tym przypadku do zamkniętej przestrzennie jednostki przyrodniczej, lecz służy przede wszystkim doborowi pozostałych kryteriów. W związku z tym jest oczywiste, że ogólne zasady postępowania nie oznaczają jednocześnie bezpośredniej, a tym bardziej jednoznacznej identyfikacji parametrów w obrębie realnie funkcjonujących ekosystemów. W praktyce, punktowo identyfikowane wartości parametrów przypisywane są do sztucznie

* Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, 00-927
Warszawa, ul. Krakowskie Przedmieście 30, e-mail: jrlechni@uw.edu.pl

wyznaczonych pól, najczęściej siatki kwadratów. Podejście takie powoduje problemy m.in. na etapie dostosowania gęstości sieci punktów pomiarowych do obserwowanego zróżnicowania warunków przyrodniczych i skali opracowania, a w dalszej kolejności agregacji i transpozycji uzyskanych danych. Jest to z kolei wygodne z punktu widzenia możliwości zastosowania zautomatyzowanych technik parametryzacji, w tym szczególnie metod teledetekcyjnych, a także wykonywania obliczeń modelowych i ich kartograficznej prezentacji.

Z drugiej strony wiadomo, że kompleksy złożone ze skał i osadów powierzchniowych, gleb, roślin i zwierząt, łącznie z formami terenu, składają się na krajobraz. Co więcej stopień homogeniczności wydzielanych jednostek krajobrazowych zależy od skali opracowania i szczegółowości danych wejściowych (Richling, Solon, 1994; Thomas, 2001). Ponadto, jednostki krajobrazowe można rozpatrywać jako systemy dynamiczne, zawierające określone obiekty, obejmujące również przepływ materii i energii odpowiadający szeroko rozumianym procesom wzrostu i zaniku, obiegu oraz transformacji (Phillips, 1999). Oznacza to, po pierwsze, że pole podstawowe utożsamiane z receptorem może być wyodrębnione na podstawie dowolnego zestawu elementów, które wykazują ukierunkowane a jednocześnie istotne powiązania z punktu widzenia badanych procesów (analogicznie do teorii systemów, ale w tym przypadku ma ono z góry określony wymiar przestrzenny i konkretną strukturę). Po drugie, funkcjonalna destabilizacja systemu krajobrazu, rozumiana jako reakcja na wprowadzane zanieczyszczenia, może być rozważana w odniesieniu do zmian obserwowanych w obrębie jednostek krajobrazowych oraz/lub dysfunkcji procesów kontrolujących badany system (Phillips, 1999; Thomas, 2001). To z kolei pozwala sprecyzować pozostałe spośród kryteriów, które odnoszą się do funkcjonowania ekosystemu - krajobrazu.

Traktując powyższe uwagi jako hipotezę badawczą do zweryfikowania, należało uzyskać odpowiedź na zasadnicze pytanie: czy i w jakim stopniu możliwe jest wykorzystanie jednostek krajobrazowych dla potrzeb badań z zastosowaniem teorii ładunków krytycznych, a jeśli tak, to czy wynikają z tego dalsze korzyści?

Problem w tym przypadku nie polega na stosowaniu odmiennych modeli pozwalających oceniać zagrożenie kwaśną depozycją, lecz odnosi się do etapu i sposobów agregacji danych oraz transpozycji wyników. Wydaje się, że nie ma to większego znaczenia dla opracowań w skali topicznej, odnoszącej się do małych obiektów, wymagającej bardzo szczegółowego rozpoznania. Uwidacznia się on natomiast w przypadku badań średnioskalowych, szczególnie w sytuacji niedostatecznego rozwoju sieci monitoringu w postaci zlewni badawczych oraz posterunków pomiarowych przy jednoczesnej, ograniczonej dostępności do istniejących baz danych w zakresie pomiarów i modelowania poziomu imisji oraz niezbędnej parametryzacji środowiska.

W Polsce, niezależnie od szczegółowych map geologicznych i glebowych oraz operatów leśnych istnieją również materiały kartograficzne oraz udokumentowane wyniki z rozpoznania terenowego środowiska związane z wykonywanymi opracowaniami krajobrazowymi, dokumentacjami fizjograficznymi (najczęściej w skali 1:25000 lub 1:50000) oraz planami ochrony. Możliwość ich potencjalnego

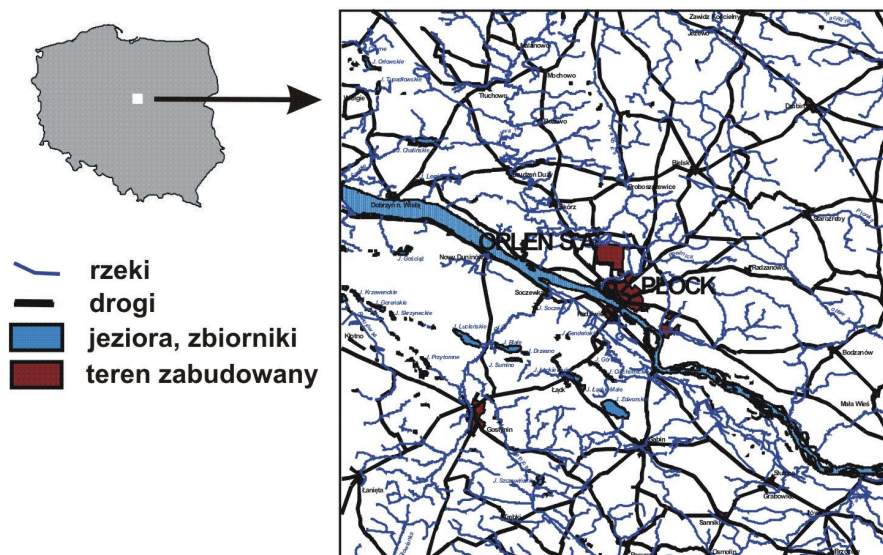
wykorzystania dla potrzeb badań z zastosowaniem teorii ładunków krytycznych wydaje się szczególnie interesująca.

Material i metody

Kierując się potrzebą zweryfikowania sformułowanych wyżej problemów przeprowadzono postępowanie, które obejmowało: 1. wyznaczenie jednostek krajobrazowych na podstawie danych fizycznogeograficznych, oraz badań terenowych odpowiadających szczegółowości map w skali 1 : 25 000, 2. ocenę podatności i poziomu zagrożenia środowiska na zakwaszanie poprzez określenie własności buforowych i ładunków krytycznych, zgodnie z metodą SMB, 3. ustalenie związków struktury wydzielonych typów i wariantów geokompleksów z uprzednio wyliczonymi wartościami ładunków krytycznych i parametrami modelu SMB.

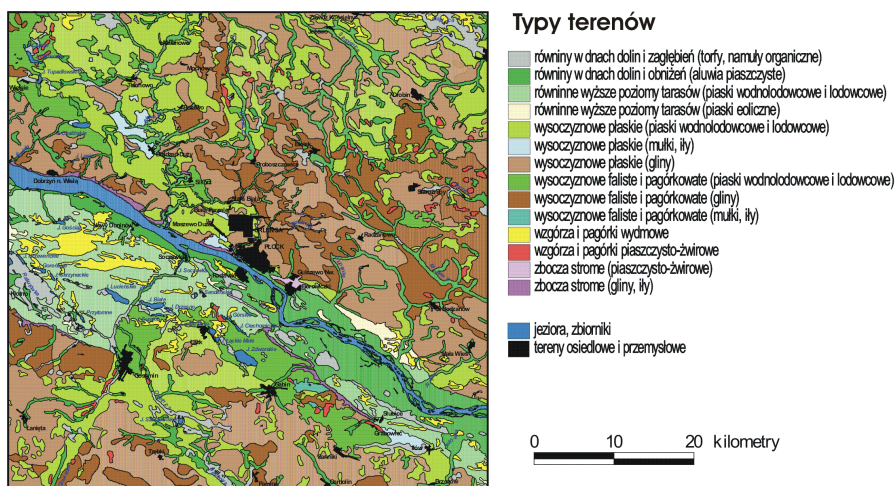
Badania prowadzono na obszarze 3,600 km² wokół Płockiego Zespołu Miejsko-Przemysłowego (PZMP, rys. 1), w centrum którego znajdują się zakłady rafineryjno-petrochemiczne ORLEN S.A., będące głównym źródłem zanieczyszczeń. W latach 1980 – 1995 średnia roczna wielkość emisji gazów zakwaszających środowisko wahała się od blisko 70 tysięcy do niespełna 40 tysięcy ton, w tym na związki siarki przypadało odpowiednio 92 i 84 %.

Jednostki fizycznogeograficzne (rys. 2) reprezentowane przez typy i warianty typów terenu, wyznaczono ze skrzyżowania form terenu, litologii i użytkowania. Uznano, że składowe te są do siebie dostosowane, a jednocześnie spełniające funkcję elementów systemu, determinujących sposób funkcjonowania podsystemów wewnętrznych i otoczenia (Richling, Solon 1994).



Rys. 1. Teren badań
Fig. 1. Terrain of research

Kolejny etap badań koncentrował się na ustaleniu wartości parametrów wejścia modelu uproszczonego bilansu masy, które następnie mogłyby być poddane szczegółowej analizie służącej stwierdzeniu relacji pomiędzy cechami wydzielonych jednostek, a odpowiadającymi im wartościami ładunków krytycznych.



Rys. 2. Typy terenów

Fig. 2. Types of terrains

W celu uniknięcia wpływu agregacji i transpozycji danych na uzyskane wartości ładunków krytycznych, były one wyliczane dla parametrów identyfikowanych w punktowych badawczych gleb. Postępowanie takie pozwoliło jednocześnie na uwzględnienie nieliniowej zależności elementów strukturalnych krajobrazu i cech fizyko-chemicznych wykorzystywanych w modelu SBM.

Wielkość dostawy związków siarki do podłoża została określona przy wykorzystaniu metody bioindykacyjnej z zastosowaniem mchu *Sphagnum* (Fabiszewski et al., 1983; Leva et al., 2000; Winner et al., 1998) Ogółem przeprowadzono 4 eksperymenty polowe (w 1991, 1992 oraz dwa w roku 2000).

W miejscach ekspozycji transplantantów mchu prowadzona był również kontrola wysokości i chemizmu opadów.

Analiza własności chemicznych opadu atmosferycznego z koncentracją siarki w próbach mchu pozwoliła ustalić sumaryczną wielkość suchej i mokrej depozycji siarki. W tym celu wykorzystano metodę opisaną w pracy J. Lechnio et al., 2000, J. Lechnio 2000. Wartości uzyskane z modelu były rozpatrywane w odniesieniu do wcześniej wyróżnionych jednostek krajobrazowych.

Celem ustalenia rozkładu dostawy kationów zasadowych wykorzystano dane pomiarowe Zintegrowanego Systemu Monitoringu Środowiska i wyniki opracowań modelowych RIVM (Draaijers et al., 1995). Rozpatrywano je jako wartości tłowe, które następnie weryfikowano w oparciu o wyniki pomiarów wykonywanych przez lokalne służby ochrony środowiska, różnicując w zależności od stężenia w powietrzu atmosferycznym i lokalnych warunków osiadania zanieczyszczeń. Założono bowiem, że wielkość depozycji kationów zasadowych ulega modyfikacji związanej głównie z miejscowymi warunkami dystrybucji zanieczyszczeń pyłowych.

W odniesieniu do parametrów opisujących właściwości fizyczne i chemiczne gleb niezależnie od archiwalnych materiałów kartograficznych i tabelarycznych zostały przeprowadzone badania własne. Ogółem przeanalizowano 120 profili glebowych rozmieszczonych w różnej odległości od głównego emitora. Obejmowały one występujące na tym terenie typy gleb i jednocześnie odpowiadały obserwowanemu zróżnicowaniu jednostek krajobrazowych. Próby pobrano dwukrotnie, na początku i końcu prac terenowych. Wszystkie niezbędne analizy wykonano zgodnie z przyjętą metodyką wykonywania oznaczeń (Ostrowska, et al., 1991).

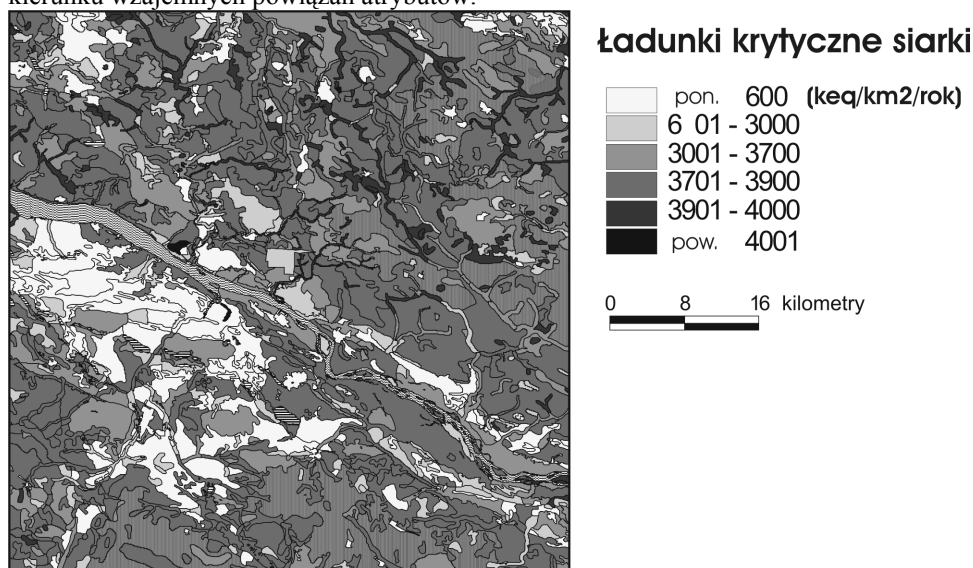
Obliczenia ewapotranspiracji wykonano w oparciu o dane pomiarowe za lata 1981-1990, przeprowadzone w stacji terenowej Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, zlokalizowanej w centralnej części terenu badań. Zastosowano w tym przypadku rozwiązanie FAO Penman-Monteith. Podobnie jak pozostałe badane cechy środowiska wartości ewapotranspiracji rozpatrywano w odniesieniu do wydzielonych geokompleksów. Niezbędne parametry dotyczące cech podłoża pochodziły z rozpoznania terenowego gleb. W obliczeniach uwzględniono również stadia rozwojowe poszczególnych upraw i zbiorowisk naturalnych (Tomaszewska et al., 1992). W przypadku powierzchni leśnych brano pod uwagę wiek i

skład drzewostanu. W efekcie możliwe było ustalenie średnich wieloletnich wartości perkolacji (rys. 3)

Wartości pozostałych parametrów zostały natomiast określone przy zastosowaniu standardowych metod stosowanych w monitoringu środowiska (De Vries et al., 2000), przy wykorzystaniu dostępnych materiałów archiwalnych pochodzących z Regionalnego Systemu Monitoringu Środowiska, publikacji Instytutu Badawczego Leśnictwa, danych służb leśnych (nadleśnictwa) oraz lokalnych służb agronomicznych, Inspektoratu Ochrony Środowiska i Powiatowego Urzędu Ochrony Środowiska.

Ładunki krytyczne siarki (rys. 5) wyznaczono natomiast posługując się kryterium stabilności chemicznej oraz toksyczność gleb (Aherne et al. 2002, Alveteg et al. 2000, Arbestain et al. 1999, Downing et al., 1993, Hall et al., 2001, Kennedy et al., 2001, Posch et al. 1997).

Uzyskany zestaw danych modelowych oraz parametrów jakościowych i ilościowych posłużył przeprowadzeniu stosownych ocen statystycznych. W tym celu, spośród możliwych do zastosowania metod wykorzystano Simple and Multiple Correlation Analysis, Factor Analysis, Principal Components and Classification Analysis, Canonical Correspondence Analysis. Techniki te pozwalają bowiem na stwierdzenie relacji w obrębie bazy danych zarówno z punktu widzenia występujących podobieństw jak i kierunku wzajemnych powiązań atrybutów.



Ryc. 5. Ładunki krytyczne siarki

Fig. 5. Loads of critical sulphur

Wyniki

Jak wcześniej wspomniano, uzyskane wyniki (dane ilościowe i jakościowe) utworzyły bazę danych, która umożliwiła zbadanie relacji występujących pomiędzy: 1.

Jednostki krajobrazowe jako pola podstawowe oceny zagrożenia środowiska...

jednostkami krajobrazowymi a charakterystykami, które teoretycznie są uwarunkowane przez strukturalne (statyczne) elementy krajobrazu, 2. strukturalnymi elementami krajobrazu i parametrami opisującymi dynamikę, 3. jednostkami krajobrazowymi i elementami jednostek a parametrami odnoszącymi się do procesów przebiegających w ich otoczeniu, 4. systemem krajobrazu (elementami krajobrazu, opisującymi te elementy cechami oraz procesami otoczenia) a parametrami modelu SBM i ładunkami krytycznymi.

Pierwszy etap analizy, z zastosowaniem metod korelacji liniowej i kanonicznej, pozwolił wykazać istnienie istotnych powiązań pomiędzy atrybutami jakościowymi i cechami ilościowymi opisującymi strukturę jednostek krajobrazowych. Stopień wyjaśnienia powiązań par i grup parametrów (odpowiadających klasyfikacji – tab. 1) mieścił się w przedziale od 20 do 95%. Zaskakująco niskie wartości odpowiadały korelacji parametrów opisujących cechy strukturalne jednostek (np. typ jednostki z litologią i typem gleb). Średnie wartości korelacji występowały między innymi w przypadku związków cech strukturalnych z parametrami odnoszącymi się do własności chemicznych gleb (typ utworów i skład granulometryczny z pH gleby, pojemnością kompleksu sorpcyjnego, kwasowością hydrolityczną). Najwyższy poziom korelacji dotyczył zaś związku cech użytkowania i funkcjonowania jednostek z procesami otoczenia, w tym przypadku warunkami dostawy i dystrybucji substancji (np. użytkowanie i własności aerodynamiczne pokrycia z dostawą kationów zasadowych, perkolacją, wielkością wynoszenia kationów zasadowych i ich poboru przez roślinność).

Tabela 1. Charakterystyki wykorzystane w analizie związków struktury krajobrazu z parametrami modelu SBM

Table 1. Used character in analysis of relationships of structure of scenery with parameters of model SBM

ukształtowanie	użytkowanie	litologia	gleba	klimat	kationy i aniony
równiny w dnach dolin i zagłębień równinne wyższe poziomy tarasów wysoczyznowe płaskie wysoczyznowe faliste i pagórkowate wzgórza i pagórki wydmowe stromo zbocza	rolnicze leśne: las liściasty las iglasty las mieszany łąkowe rolniczo- leśne rolniczo- łąkowe leśno łąkowe nieużytki zabudowa	torfy namuły piaszczysto- organiczne piaski wodnolodowcowe i lodowcowe piaski eoliczne gliny mulki i iły piaski i żwiry	typ gleby skład granulometryczny substancja organiczna pH (w KCl) koloidy pojemność sorpcyjna kwasowość hydrolityczna wysycenie kompleksu kationami uwalnianie, pobieranie, wynoszenie kationów	nasłonecznienie temperatura wilgotność kierunek i prędkość wiatru, czas trwania wiatru o określonym kierunku rozkład w czasie i wysokość opadów	mokra i sucha depozycja siarki depozycja kationów zasadowych skład chemiczny i wielkość plonów pobieranie kationów zasadowych przez drzewa dostawa kationów zasadowych i siarki z nawozami

W przypadku parametrów użytych do określenia wartości ładunków krytycznych, wykazywały one istotne związki z litologią i typem gleby (10 – 15% wyjaśnienia wariancji) oraz wielowymiarowymi cechami użytkowania (typ pokrycia, własności aerodynamiczne, nawożenie – 30 – 70% wyjaśnienia wariancji), a także warunkami odpływu. Jednoznacznie wysoki poziom korelacji obserwowany był w obrębie parametrów opisujących dostawę i warunki dystrybucji substancji zakwaszających i neutralizujących kwasowość. Nie występowały natomiast istotne związki pomiędzy jakościowymi atrybutami wyróżnionych jednostek i parametrami użytymi do wyliczenia ładunków krytycznych.

Szczegółowe dane dotyczące wyżej opisanych związków zawiera tabela 2.

Zważywszy na skomplikowaną naturę korelowanych procesów trudno było uznać, że wykazane powiązania poszczególnych parametrów zapewniają odpowiednie prawdopodobieństwo predykcji i porównywalności wyników. Z teorii statystycznej wiadomo, że zadowalająca szczegółowość wykazanego związku występuje w przypadku, kiedy posługując się możliwie najmniejszym zbiorem parametrów opisujących dany proces jesteśmy w stanie uzyskać możliwie najwyższy stopień jego wyjaśnienia. Odnosząc tę zasadę do uprzednio zweryfikowanego zbioru danych, ograniczonego do parametrów, które wykazują powszechnie uznawane związki, przeprowadzono wielowymiarową analizę czynnikową. Odnosiła się ona do wyliczonych wartości ładunków krytycznych siarki i ich przekroczeń oraz własności buforowych środowiska, kluczowych z punktu widzenia

Tabela 2. Korelacja wybranych parametrów wykorzystanych do opisu jednostek krajobrazowych oraz ładunków krytycznych siarki

Table 2. Correlation of choose used parameters to description of krajobrazowych individuals as well as critical loads of sulphur

Zmienna	Stopień wyjaśnienia wariancji (%)			
	ANC	CLmax	CL91	CL20
Użytkowanie				
szorstkość Zo	85 - 90	85 - 90	30	-
Gleba				
frakcja piaszczysta	~ 20	~25	-	-
frakcja koloidalna	~30	25-30	~10	~10
pH	~25	~25	-	-
Corg.	15-20	13-17	-	-
CEC91	24-26	26	9	8
CEC20	25-28	25-28	-	-
HA	14-17	16-18	<5	<5
SEB	~20	~20	<7	<7
Hydrologia				
perkolacja Qw	70-90	70-90	40-45	28-32
Dystrybucja siarki i kationów zasadowych				
BC dost.	18	19	-	-

Jednostki krajobrazowe jako pola podstawowe oceny zagrożenia środowiska...

BC dost. + nawozy	97	95	50	30
BC91 dost. + nawozy	95-97	94-97	45-50	~30
BC20 dost. + nawozy	95-97	95-97	~50	~30
Bcu	45-50	50	30	20
BCw	33	41	20-21	18
Bc le	98	97-99	48	30
Sd-91	15	15	90-92	95-97
Sd-20	<10	<10	87-90	94-97
Geokompleksy – cechy fizyko-chemiczne				
Qw,BCw,Bcle,Zo	96	>90	36	33
Zo,SEB, BC,Corg	80	79	-	-
Qw, Zo, Corg, il	82	81	20	13
Geokompleksy – cechy jakościowe				
typ	23	25	15	12
wariant	13	11	11	12

Objaśnienia: Corg. – węgiel organiczny, CEC – poj. wymienna kationów, HA – kwasowość hydrolityczna, SEB –poj. kompleksu sorpcyjnego, Sd - depozycja siarki, BC – kationy Ca+Mg+K+Na, Bc - kationy Ca+Mg+K, Qw – perkolacja (średnia za lata 1981-90), ANC – pojemność buforowa w stosunku do substancji zakwaszających, CL – ładunki krytyczne siarki, 91, 20 – dotyczy roku 1991, 2000, , le – wynoszenie, u – pobieranie, w – wietrzenie,

W grupie parametrów objaśniających nie uwzględniono odległość od podstawowego emitora zanieczyszczeń, aby możliwie w największym stopniu opis badanych zależności odnosił się do struktury krajobrazu. Pozwoliło to ustalić, że w przypadku ładunków krytycznych, wykazują one najwyższy stopień powiązania z takimi parametrami jak: typ jednostki, wariant jednostki, właściwości aerodynamiczne pokrycia – szorstkość, perkolacja (R^2_{adjust} 81%), typ jednostki, wariant jednostki, właściwości aerodynamiczne pokrycia – szorstkość (R^2_{adjust} 80%), wariant jednostki, właściwości aerodynamiczne pokrycia – szorstkość, perkolacja (R^2_{adjust} 80%). W odniesieniu do parametrów równania bilansu masy stopień wyjaśnienia ładunków krytycznych był najwyższy dla grupy 4 parametrów: depozycji kationów zasadowych (BCdep), ich poboru przez roślinność (BCu), uwalniania w efekcie wietrzenia (Baw), pojemności buforowej gleb w stosunku do substancji zakwaszających (ANC). W przypadku opisu ANC najwyższy poziom wyjaśnienia uzyskano dla parametrów: typ i wariant jednostki, szorstkość podłoża (R^2_{adjust} 84%).

Najwyższy stopień wyjaśnienia przekroczeń ładunków krytycznych siarki otrzymano dla szorstkość pokrycia i wielkości dostawy ($R^2_{\text{adjust}} = 90\%$).

Wnioski

Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność klasycznie wyznaczanych jednostek krajobrazowych do wykonywania ocen zagrożenia środowiska emisją gazową w skali planistycznej 1:25000,

Jednostki krajobrazowe zapewnią uśrednianie danych dostosowane do potrzeb parametryzacji modelu SMB,

Złożony charakter procesów warunkujących stopień zagrożenia środowiska emisją substancji zakwaszających wymaga parametryzacji geokomponentów w zakresie charakterystyk opisujących ich funkcjonowanie biogeochemiczne. Statyczne elementy krajobrazu spełniają w tym momencie funkcję porządkującą w stosunku do cech biogeochemicznych.

Abstract

The critical load theory has been developed in order to meet the need to forecast impact of acid deposits upon environment. For practical reasons, application of the method is limited to natural ecosystems. Moreover, threshold risk values determined with the use of SBM model are considered fair and binding both from the viewpoint of building scientific hypotheses and applying in practice. At the same time, it is commonly known that ecosystems' capability of neutralising acid deposits depends on the character of their components and the way they operate, as their multilateral relationships determine processes of deposition and distribution of acidifying and acid neutralizing substances.

The objective of this study was to check relations between the structure of classically defined geocomplexes and critical sulphur loads determined by a Simple Mass Balance model. Collected evidence provides the basis to indicate a statistically significant relation between structure of geocomplexes, critical loads and parameters used to calculate these values. This let to determine that classical and commonly accessible data sources coming from landscape and physiographic research carried out in Poland are appropriate for the purpose of predicting threshold risk values in meso- and macroscale.

Literatura

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998, *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Aherne, J., Farrell, E.P., 2002, *Steady state critical loads of acidity for sulphur and nitrogen: a multi-receptor, multi-criterion approach*. The Science of the Total Environment, ss. 288.
- De Vries, W. 1993, *Average critical loads for nitrogen and sulfur and its use in acidification abatement policy in the Netherlands*. Water, Air and Soil Pollution, Vol. 68.
- Downing, R.J., Hetteling, J. P., Smet, P.A.M. de (eds.), 1993, *Calculating and mapping critical loads for Europe*, Status Report No. 3. UN ECE, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Coordinating Centre for Effects, National Institute of Public Health and Environmental Protection. RIVM Report No.259101003.
- Draaijers, G.P.J., van Leeuwen, E.P., de Jong P.G.H., Erisman J.W., 1996, *Deposition of base cations in Europe and its role in acid neutralization and forest nutrition*, RIVM report no. 722108017.
- Fabiszewski J., Brej T., Bielecki K., 1983 – *Fitoindykacja wpływu huty miedzi na środowisko biologiczne*. Ossolineum. Prace WTN. Seria B. Nr 207.
- Hall, J., Reynolds, B., Aherne, J., Hornung, M., 2001, *The importance of selecting appropriate criteria for calculating acidity critical loads for terrestrial ecosystems using the simple balance equation*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 1.
- Kennedy, F., Rowell, D., Moffata, A. J., Singh, B., 2001 – *An analysis of the structure of the simple mass balance equation: implications for testing national critical loads maps*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 1.
- Lechnio, J., Lenart, W., Malinowska, E., 2000, *Atmospheric supply of heavy metals into the soil in the area of Plock and petrochemical plant* [w:] Floodplain Pollution Control Management

Jednostki krajobrazowe jako pola podstawowe oceny zagrożenia środowiska...

- (Vistula river, Poland). German IHP/OHP Committee and Polish IHP National Committee to UNESCO IHP IV project M-3-4 "Flood plain pollution control management of the rivers Vistula (Poland) and Main (Germany) and to IHP V project 2.3 "Interaction between river systems, floodplains and wetlands". Retro-Art and Paper & Tinta. Koblenz 2000.
- Lechnio, J., 2001 – The influence of sulphur immision on soil cover in the vicinity of Płock oil plant. [w:] Richling, A., Osowiec, M. (red.), 2001. Landscape ecological methods for strongly transformed areas". Conference Materials. Warsaw, 22-28 June 2000. Faculty of Geography and Regional Studies, Warsaw University. Warsaw.
- Leva, F., Cenci R. M., Bergonzoni, M., Dapiaggi, M. 2000, *Trace elements monitoring in contaminated sits using mosses of the species Hypnum Cupressiforme*, JRC Ispra, Environment Institute, AGAC Divisione Energia. Italy
- Nilsson, J. and Grennfelt, P., 1988, *Critical loads for sulphur and nitrogen. Nordic Council of Ministers and ECE*. Nord 1988:15.
- Ostrowska, A., Gawliński, S., Szczubiałka, Z., 1991, *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. IOŚ, Warszawa.
- Richling, A., Solon, J., 1994, *Ekologia krajobrazu*, PWN, Warszawa.
- Skeffington, R. A., 1999, *The Use of Critical Loads in Environmental Policy Making: A Critical Appraisal. Environmental Policy Analysis*, Vol. 33, Issue 11.
- Thomas, M.F., 2001, *Landscape sensitivity in time and space — an introduction*. Catena 42.
- Tomaszewska, T., Rutkowski, Z., 1992, *Fenologiczne pory roku i ich zmienność w okresie 1951-1990*, IMGW. Warszawa.
- UBA, 1996, *Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded*, Texte 71/96, Task Force on Mapping, Section II 1.2. Berlin.
- Van Der Salm, C., De Vries W., 2001, *A review of the calculation procedure for critical acid loads for terrestrial ecosystems*, The Science of the Total Environment 271.
- Winner, W.E., Atkinson, C.J., Nash, T.H., 1988, *Comparisons of SO2 absorption capacities of mosses, lichens, and vascular plants in diverse habitats*, [w:] Nash, T.H. III (ed.) *Lichens, Bryophytes and Air Quality*. Biblio, Lichenol. 30, J. Cramer in der Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlg, Berlin-Stuttgart.