

ekonomicznie ważne oraz te, które przewidujemy, że będą omijane przez zwierzę. Pozostały zapas pędów gatunków akcesorycznych należących do grupy zgryzanych losowo i preferowanych wraz z roślinami runa oraz ewentualnie kora tych gatunków będzie bazą pokarmową stanowiącą podstawę do dalszych obliczeń. Następnie trzeba sprawdzić, czy średnia strawność tak uzyskanego zestawu pokarmowego nie jest niższa od krytycznej i przeprowadzić ewentualne poprawki.

Teraz zdecydować należy jaka wartość współczynnika eksploatacji może zostać przyjęta dla danego typu lasu i gatunku zwierzęcy w stosunku do którego dokonujemy obliczenia pojemności wyżywieniowej. Jeśli na przykład mamy do czynienia z jeleniem, to w przeciętnym lesie na niżu Polski przyjmuje się zwykle 75% jako dopuszczalną granicę wyeksploatowania przez te zwierzęta ich bazy pokarmowej. Poszukiwana pojemność wyżywieniowa będzie iloczynem tej ostatniej wartości i zapotrzebowania pokarmowego pojedynczego (średniego) osobnika w ciągu zimy. Jeśli zasobność bazy pokarmowej wyrażona będzie w tonach suchej masy na 100 ha lasu, a zapotrzebowanie pokarmowe w tonach suchej masy na 120 dni (średnia długość zimy w naszej strefie klimatycznej) to otrzymamy wynik wyrażony w liczbie osobników przypadającej na średnie 100 ha lasu.

LITERATURA CYTOWANA I UZUPEŁNIAJĄCA

1. Bobek B., Morow K., Perzanowski K., 1984: Ekologiczne podstawy łowiectwa. PWRiL, Warszawa
2. Bobek B., Perzanowski K., Siwanowicz J., Zieliński J., 1979: Deer pressure on forage in deciduous forest. *Oikos*, 32: 373—380.
3. Perzanowski K., Pradel A., Sikorski M., Mydlarz J., 1982: Food resources for deer in Niepołomicka Forest. *Acta theriol.*, 27: 509—519.

4.4. PRZEPŁYW ENERGII PRZEZ EKOSYSTEMY

Roman TERTIL, Andrzej GÓRECKI

W rozdziale 3.1. przytoczono już wszystkie zalety dżuła i kalorii jako unifikującej jednostki, która lepiej niż liczebność czy biomasa pozwala scharakteryzować zależności biologiczne. Jest to szczególnie ważne na wyższych poziomach organizacji, takich jak populacja czy cały ekosystem. Tak przez osobniki, jak i przez wszystkie wyższe poziomy organizacji przepływa nieustanny potok energii. Energia przepływa tylko raz i jest ostatecznie rozpraszana w postaci ciepła. We wszystkich wypadkach energia musi więc pochodzić ze źródła zewnętrznego,

przy czym na przykład dla organizmu zwierzęcego jest to energia pokarmu (patrz rozdz. 3.2), a dla całego ekosystemu energia słoneczna lub — rzadziej — dopływ energii z innego ekosystemu (tak jak np. w głębokich jaskiniach i afotycznych głębinach oceanicznych).

Na całkowity przepływ energii przez pełny * ekosystem składają się przepływy przez wchodzące w jego skład poziomy troficzne. Asymilacja danego poziomu troficznego obejmuje sumę respiracji i produkcji: $A = P + R$; może też być przedstawiona jako konsumpcja minus straty energii w kale i moczu: $A = C - F - U$ lub rzadziej $A = C - (F + U)$ — np. u ptaków.

W pełnym ekosystemie są reprezentowane następujące poziomy troficzne: (1) producenci — głównie rośliny zielone, (2) konsumenci I rzędu — zwierzęta — roślinożercy, (3) konsumenci II rzędu — mięsożercy (drapieżniki), (4) konsumenci III i dalszych rzędów aż do drapieżników szczytowych, (5) reducenty ** — rozkładający materię organiczną pochodzącą ze wszystkich powyższych poziomów.

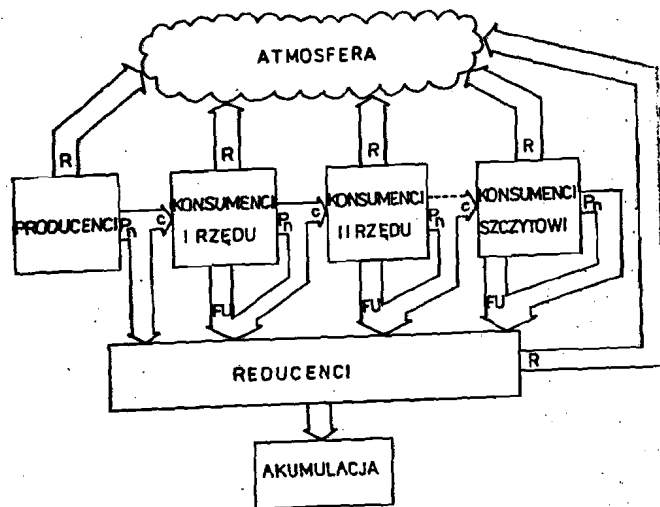
Niezwykle uproszczony schemat funkcjonowania ekosystemu, uwzględniający wymienione poziomy troficzne, przedstawia rycina 4.4.1. Do ekosystemu dochodzi energia słoneczna, która może być wiązana tylko przez organizmy pierwszego poziomu troficznego — producentów, ściślej fototrofy. Ogromna większość tej energii nie jest wykorzystywana, ulega częściowemu odbiciu, a także zostaje wypromieniowana w procesie transpiracji. Zaledwie 0,5—1% energii padającej zostaje zmagazynowane w postaci związków organicznych wytworzonych drogą fotosyntezy. Cała ta energia asymilowana przez roślinę to produkcja brutto — P_b . Tworząc własne tkanki rośliny zużywają dużą część energii w postaci respiracji (R). Dopiero pozostała jej część wbudowana w tkanki to produkcja netto — P_n , dostępna dla pozostałych poziomów troficznych. Produkcję roślinną nazywamy produkcją pierwotną (P_p), gdyż powstaje ona bezpośrednio z energii słonecznej.

Następny poziom troficzny — roślinożerców — obejmuje organizmy w zasadzie całkowicie zależne od energii związanej w postaci produkcji pierwotnej netto. Oczywiście roślinożercy zużywają tylko część produkcji roślinnej. Cała jej reszta przechodzi do łańcucha reducentów. Proces ten może zachodzić bardzo szybko (np. obumierające glony w stawie) lub może zostać wstrzymany na dłuższy okres czasu (np. retencja energii w postaci drewna w lesie — patrz rozdz. 5.3). Tym niemniej nie skonsumowana energia zawsze musi dotrzeć do reducentów.

* Ekosystem pełny to układ zawierający wszystkie poziomy troficzne.

** Organizmy objęte nazwą „reducentów” należą do bardzo różnych grup funkcjonalnych i tworzą oddzielny, bardzo skomplikowany łańcuch troficzny o wielu poziomach. W przyjętym tu podziale dla uproszczenia przedstawiono je w postaci jednego bloku.

Stosunki energetyczne na poziomach konsumentów bardzo przypominają podobne zależności u pojedynczego organizmu (patrz rozdz. 3.2). Z energii skonsumowanej (C) część jest rozproszona w postaci ciepła w procesie respiracji (R), część szybko przechodzi do reducentów jako kał (F) i mocz (U). Podobnie jak u producentów dopiero reszta energii jest jako produkcja netto dostępna dla innych konsumentów. Jest to jednak produkcja wtórna, ponieważ powstaje ona dopiero z przetworzenia energii produkcji pierwotnej. Zwierzęta drapieżne zużywają także tylko niewielką część energii wyprodukowanej przez roślinożerców. W kolejnych poziomach troficznych zatem powtarzają się identyczne zależności. Dopiero w ostatnim ogniwie łańcucha (poziom drapieżników szczytowych) cała produkcja netto trafia do reducentów, gdyż drapieżniki te nie stanowią już pokarmu dla żadnej innej grupy organizmów.



Ryc. 4.4.1. Ogólny schemat przepływu energii przez ekosystem: P_n — produkcja netto; C — konsumpcja; R — respiracja; FU — energia kału i moczu.

W schemacie przedstawionym na ryc. 4.4.1 energia z każdego poziomu troficznego zasila organizmy należące do reducentów. Uproszczenie bloku reducentów na schemacie przepływu energii polega na tym, że założono, iż całość dopływającej energii zostaje zużyta w procesie respiracji albo zakumulowana w postaci osadów dennych (ekosystemy wodne) lub w glebie (ekosystemy lądowe).

Należy zdawać sobie sprawę z daleko idących uproszczeń przedstawionego tu jakościowego modelu. Silnie rozbudowano w nim łańcuch troficzny konsumentów — zignorowano natomiast takie zjawiska, jak struktura łańcucha pokarmowego reducentów czy wzajemne zjadanie

się konsumentów w obrębie tego samego poziomu troficznego. Uproszczenia te są jednak konieczne ze względu na perspektywę dalszej (tym razem ilościowej) interpretacji zjawisk energetycznych w ekosystemach. Dopiero ilościowe podejście pozwala na porównywanie ekosystemów między sobą i na rozważenie różnic w wydajnościach, z jakimi przebiegają procesy energetyczne w tych skomplikowanych układach.

Jedną z pierwszych ogólnych prawidłowości energetycznych zaobserwowanych w ekosystemach było tak zwane „prawo 10%”. Stwierdzono, że w przyrodzie z niższego poziomu troficznego na wyższy przechodzi tylko około 10% produkcji. Oczywiście mogą tu występować bardzo znaczne różnice, jednak można najogólniej przyjąć, że z energii związanej przez roślinność tylko 10–15% może być przeniesione do poziomu zwierząt roślinożernych. Z kolei z produkcji roślinożerców do poziomu drapieżników przechodzi znowu tylko około 10–15% energii. Już nawet tak bardzo ogólne stwierdzenie uwiadamia, że w samym przepływie energii jest zawarte ograniczenie liczby poziomów troficznych. Należy jeszcze raz przypomnieć, że z dopływającej energii słonecznej tylko mniej niż 1% jest wiązany przez pierwszy poziom troficzny — producentów.

Ekolodzy dysponują obecnie wieloma dość dokładnymi metodami obliczania poszczególnych elementów przepływu energii. Obliczenia takie przeprowadza się dla poszczególnych populacji, później sumuje się te oceny w obrębie poziomów troficznych. Przytoczone uprzednio wzory na asymilację nie mogą być w tej postaci wykorzystane do przeliczenia danych eksperymentalnych, gdyż nie ma w zasadzie dokładnych bezpośrednich metod oceny produkcji czy respiracji całych populacji (patrz też rozdz. 3.4). Wobec tego wzór:

$$A = P + R$$

zostaje na przykład rozwinięty do następującej postaci:

$$A = K_0(N \times W \times G_0) + K_m(N \times W \times M \times T) \quad (1)$$

a wzór:

$$A = C - F - U$$

ulega rozwinięciu do:

$$A = K_0(N \times C \times T) - K_m(N \times F \times T) \quad (2)$$

gdzie:

- T — okres czasu — w dniach — dla którego oblicza się budżet,
- N — średnia liczebność populacji na jednostkę powierzchni dla okresu T ,
- W — średni ciężar osobnika w populacji (biomasa) dla okresu T ,
- G_0 — rotacja biomasy
- K_0 — wartość energetyczna biomasy ciała osobnika,
- M — średni metabolizm dobowy mierzony zwykle jako zużycie tlenu na jednostkę ciężaru ciała,

K_m — kaloryczny ekwiwalent tlenu (rozdz. 3.3),
 C — dobowa konsumpcja pokarmu przez osobnika,
 K_e — wartość energetyczna pokarmu,
 FU — dobowe wydalenie kału i moczu przez średniego osobnika,
 K_e — wartość energetyczna (średnia dla kału i moczu).

Śród wymienionych parametrów tylko Θ_b — rotacja biomasy wymaga dodatkowych objaśnień. Rośliny i zwierzęta wymieniają się ciągle w populacjach. Średnia długość życia drobnych zwierząt jest często znacznie krótsza niż rok. Zatem cała populacja może się wymieniać nawet kilkakrotnie w ciągu roku (patrz rozdz. 3.4). Jeśli taka wymiana zaszła na przykład trzykrotnie, to na danym terenie w każdym momencie mamy do czynienia z populacją o liczebności N i biomase

Tabela 4.4.1

Produkcja pierwotna netto w ekosystemach naturalnych według Rodina i Bazilewicza (1968) i Whittakera (1970)

Ekosystem	mln kJ/ha×rok	mln kcal/rok
Tundra	18—46	4.4—11.0
Pustynia	13—46	5.4—11.0
Step	77—200	18.5—48.0
Sawanna	135—200	32.0—52.8
Tajga	54—130	13.0—31.0
Las dębowy	190	45.0
Las bukowy	240	57.0
Las podzwrotnikowy	440	105.4
Tropikalny las deszczowy	560	143.0
Otwarty ocean	23	5.5
Strefa szelfu kontynentalnego	64	15.4

B , natomiast roczna produkcja tej populacji będzie faktycznie trzykrotnie wyższa. Mnożnik ten nazywamy rotacją:

$$P = \Theta_b \times B \quad (6)$$

czyli:

$$\Theta_b = P/B \quad (7)$$

przy czym B oznacza tu właściwie biomase (roślin lub zwierząt) zadaną w danym momencie. W badaniach produktywności określamy ją nazwą stanu biomasy (Sc) lub wprost angielskim terminem „standing crop”.

Najważniejszym celem badań przepływu energii jest określenie wielkości produkcji — w różnych ekosystemach naturalnych i sztucznych. Tabele 4.4.1 i 4.4.2 podają produkcję pierwotną netto w wybranych ekosystemach.

Największą produkcję wykazują intensywne uprawy trzciny cukrowej, zbierane trzykrotnie w ciągu roku (Tab. 4.4.2). Naturalne ekosystemy leśne odznaczają się także bardzo wysoką produkcją, jednak tylko w części może być ona wykorzystywana jako żywność człowieka (np. lasy tropikalne).

Bardzo ważna w wyżywieniu populacji ludzkiej jest produkcja wtórna, która dostarcza wysokowartościowego białka zwierzęcego. Dlatego też zainteresowanie ekologów od dawna dotyczy mierzenia produkcji

Tabela 4.4.2

Produkcja pierwotna netto głównych roślin uprawnych według Oduma (1982)

Uprawa	Produkcja średnia światowa mln kJ/ha×rok	Produkcja średnia światowa mln kcal/ha×rok	Maximum — Minimum kJ/ha×rok	Maximum — Minimum kcal/ha×rok
Pszenvica	54	13.0	180—40	44.0—9.0
Kukurydza	100	24.0	190—46	45.0—11.0
Ryż	96	23.0	230—70	55.0—17.0
Ziemniaki	92	22.0	170—60	41.0—14.0
Trzcina cukrowa	168	40.0	510—155	123.0—37.0

Tabela 4.4.3

Produkcja wtórna netto wybranych grup zwierząt.

	kJ/m² rok	kcal/m² rok
Drobne stałocieplne		
Drobne gryzonie	0.4—1.3	0.1—0.3
Ptaki wróblowate	0.4—1.3	0.1—0.3
Duże stałocieplne — dzikie		
Słonie	1.3	0.3
Sarny	2.1—2.9	0.5—0.7
Antylopy	3.3—17.0	0.8—4.0
Duże stałocieplne — udomowione		
Bydło na pastwisku	126	30
Produkcja bydła *	545	130
Zmiennocieplne		
Ryby w bieżącej wodzie	1.7—1250	0.4—300
Ryby — maksymalna produkcja *	1880—12560	450—3000

* Dokarmiane, hodowane w optymalnych warunkach.

różnych populacji zwierzęcych, bytujących w ekosystemach naturalnych i sztucznych. Ze względów praktycznych produkcję wtórną podaje się zazwyczaj w jednostkach energetycznych (Tab. 4.4.3). W poprzednich rozważaniach przytoczono powody, dla których produkcja wtórna netto musi być wielokrotnie niższa od produkcji pierwotnej (respiracja, „prawo 10%”).

Jak widać z tabeli 4.4.3 większość zwierząt stałocieplnych żyjących w ekosystemach naturalnych, ma niewielką produkcję zamykającą się

w granicach od 0,4 do 1,3 kJ/m² rok. Maksymalną produkcję (17,4 kJ/m² rok) stwierdzono u kopytnych na sawannach afrykańskich. O wiele większą produkcję uzyskuje się w hodowli, szczególnie u zwierząt zmiennocieplnych (ryby), u których koszty utrzymania nie są obciążone koniecznością utrzymania stałej, wysokiej temperatury ciała. Dlatego uważa się, że intensywna hodowla ryb w ciepłej wodzie z podawaniem pokarmu łatwo przyswajalnego może rozwiązać problem wyżywienia. Zresztą przy rozpatrywaniu produkcji populacji zwierząt, których używamy jako pokarmu, na pierwsze miejsce wysuwa się nie bezwzględna wartość produkcji, a raczej wydajność, z jaką zwierzęta mogą przetwarzać energię dostarczoną im z pokarmem na energię własnych tkanek. Mówi o tym stosunek P/C (Tab. 4.4.4), w którym obie wielkości (produkcja i konsumpcja) są wyrażone w jednostkach energetycznych.

Wysoką wydajność zwierząt hodowanych przez człowieka w porównaniu ze zwierzętami dzikimi (Tab. 4.4.3; 4.4.4) uzyskuje się między innymi dzięki: (1) zmniejszeniu do minimum wydatków energetycznych na aktywność, (2) bardzo znacznemu zmniejszeniu kosztów termoregulacji i (3) podawaniu wysokowartościowych pasz.

Tabela 4.4.4
Przykładowe wydajności produkcji różnych grup zwierzęcych.

	P/C
Owady (różne grupy)	0.1 — 0.5
Wróble	0.02
Drobne gryzonie	0.01 — 0.02
Dzikie kopytne (Tanganika)	0.01
Słonie (Tanganika)	0.05
Kurczęta *	0.35
Świnie *	0.26
Bydło *	0.35

* Dane otrzymane dla okresów maksymalnego wzrostu.

PROPONOWANE ĆWICZENIA

1. Zależności troficzne ekosystemu

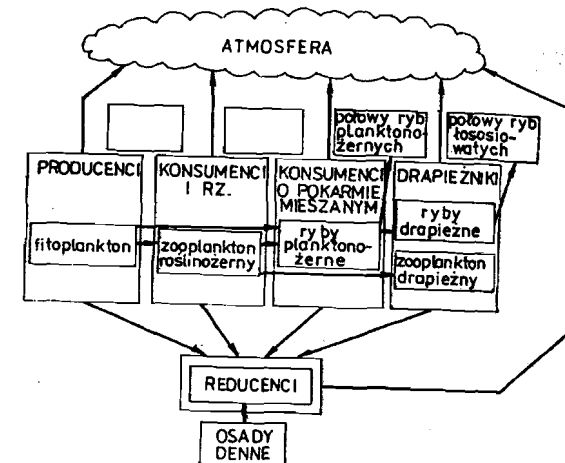
W oparciu o omówione dotychczas wiadomości można przeprowadzić ćwiczenia polegające na rekonstrukcji sieci zależności energetycznych w ekosystemie. Ćwiczenie wykonujemy na planszy (ryc. 4.4.2), będącej rozwinięciem ogólnego schematu z ryc. 4.4.1. Używane w ćwiczeniu plansze przedstawiają przykładowe ekosystemy: las grądowy, prerię, pole lucerny, cieniłą morską i jezioro śródlądowe. Plansza zawiera szereg elementów nie uwzględnionych w poprzednim schemacie: wprowadzono poziom troficzny konsumentów o pokarmie mieszanym (tzn.

odżywiających się zarówno pokarmem roślinnym jak i zwierzęcym) oraz eksploatację poszczególnych poziomów troficznych przez człowieka.

Prócz planszy dysponujemy ruchomymi blokami oznaczającymi populacje lub (częściej) grupy populacji o zbliżonej roli funkcjonalnej w ekosystemie i blokami oznaczającymi ich eksploatację. Do ruchomych elementów, które należy prawidłowo rozmieścić na planszy, należą też strzałki.

Na podstawie określonych na blokach rodzajów pokarmów przyporządkowujemy wszystkie załączone na planszy bloki odpowiednim poziomom troficznym, umieszczając je w dużych prostokątach planszy. Po dokonaniu tego rozdziału rozmieszczamy jeszcze na planszy bloki eksploatacji. Przykładowo blok „połowy ryb łososiowatych” oznacza eksploatację z poziomu drapieżników, umieszczamy go więc przy tej części planszy, która obejmuje konsumentów II rzędu.

Następnym etapem interpretacji gospodarki energetycznej jest odtworzenie wszystkich przepływów energii pomiędzy poziomami. Znowu wykorzystujemy opisy pokarmów umieszczone na blokach (w wypadku producentów brak informacji o pokarmie — zastępuje go dopływ energii słonecznej). Konsument może odżywiać się kilkoma rodzajami pokarmu czerpanego z różnych poziomów troficz-



Ryc. 4.4.2. Przepływ energii przez ekosystem jeziora.
Według danych Krogiusa i in. 1972.

nych (sieć troficzna — patrz rozdz. 3.2). Zależności te nanosimy na planszę w postaci strzałek łączących bloki organizmów stanowiących pokarm z blokiem konsumentów nim się odżywiających. Po kompletnym odtworzeniu takich powiązań otrzymujemy wszystkie zależności „poziome” w ekosystemie odpowiadające łańcuchowi troficznemu: producenci — roślinożercy — drapieżnicy. Jednak, jak już wspomnieliśmy poprzednio, tą drogą przemieszcza się w ekosystemie tylko znikoma część energii. Należy więc nanieść na planszę straty energii na respirację wszystkich populacji roślinnych i zwierzęcych żyjących w rozpatrywanym ekosystemie. Respirację przedstawiamy tylko jedną strzałką wspólną dla całego poziomu troficznego, aby uniknąć przeładowania schematu. Z tych samych względów całą energię przechodzącą z każdego poziomu do reducentów oznaczamy również jedną strzałką, niezależnie od tego, czy jest to część produkcji netto nie

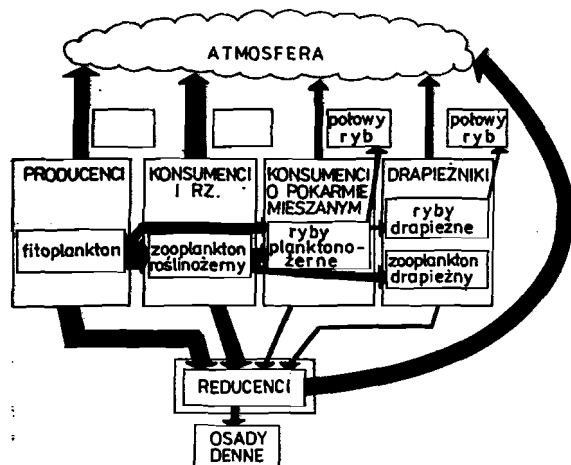
użytkowana przez następny poziom troficzny czy energia kału i moczu konsumentów.

Po rozmieszczeniu wszystkich strzałek otrzymujemy jakościowy model przepływu energii przez ekosystem (ryc. 4.4.2).

2. Ilościowe przedstawienie przepływu energii przez ekosystem

Do określonych zależności troficznych ekosystemu musi się teraz podstawić wszystkie dane liczbowe o konsumpcji C , energii kału i moczu (F , U) i produkcji P . Są one podane na wszystkich blokach zawsze w megadżulach i w megakaloriach (miliony dżuli i miliony kalorii) na ha×rok (MJ/ha×rok; Mcal/ha×rok).

Wykorzystując te dane, zastępujemy wszystkie strzałki oznaczające przepływ energii nowymi strzałkami o zróżnicowanej szerokości odpowiadającej ilości energii przepływającej w tym miejscu schematu (ryc. 4.4.3). Zróżnicowanie to otrzymano przez proporcjonalne przeliczenie wielkości energii w ten sposób, że



Ryc. 4.4.3. Ilościowy przepływ energii przez ekosystem jeziora z ryciny 4.2.2. Szerokość strzałek jest proporcjonalna do logarytmu energii.

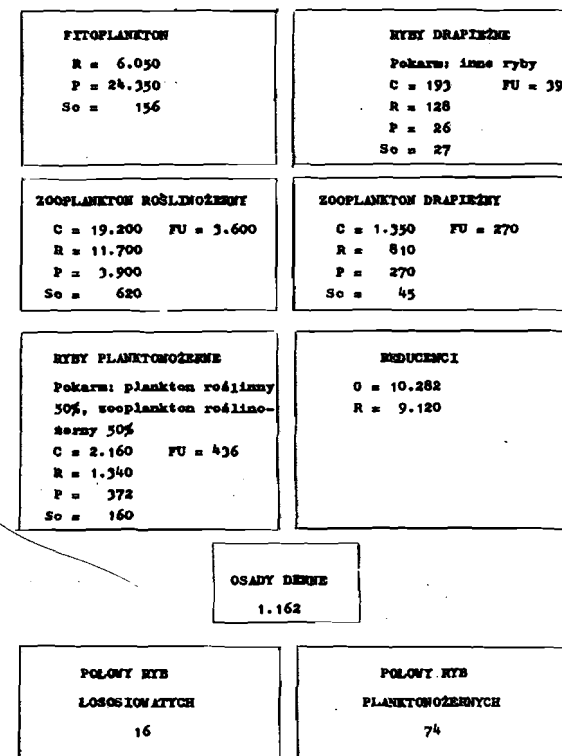
dwukrotny przyrost szerokości strzałki odpowiada dziesięciokrotnie większej energii (cały przykład podajemy w megakaloriach): Można więc oddać w ten sposób przepływ energii od 1 Mcal do 50 000 Mcal. Do ćwiczenia używa się strzałek odpowiadających 1, 10, 100, 500, 100, 2000, 5000, 10 000, 20 000, 50 000 Mcal i do tych wielkości zaokrągla się wyliczone wartości przepływów energii.

Ilościowa interpretacja utraty energii przez respirację jest bardzo prosta. Sumujemy respirację R wszystkich bloków w obrębie poziomu troficznego i umieszczamy jedną strzałkę respiracji. Na przykład w poziomie troficznym drapieżników rozpatrywanego ekosystemu (ryc. 4.4.3) strzałka respiracji reprezentuje 1000 Mcal, bowiem suma respiracji obu bloków w tym poziomie wynosi 938 Mcal.

Podobnie postępujemy przy wszystkich przepływach związanych z konsumpcją. Na przykład do bloku „ryby planktonożerne” dochodzić będzie strzałka 1000 Mcal z bloku „fitoplankton” i także strzałka z bloku „zooplankton roślinożerne” — gdyż obie te wartości dają w sumie konsumpcję ryb planktonożernych (1080+1080 Mcal).

W bardziej skomplikowany sposób obliczamy tylko ilość spadającej do poziomu reducentów energii. Schemat na rycinie 4.4.1 pokazuje, że na tę energię składa się energia kału i moczu (F , U) oraz nie skonsumowana część produkcji netto (P) ze wszystkich bloków poziomu troficznego. Na przykład „zooplankton roślinożerne” wydała z kałem i moczem 3600 Mcal, a z jego produkcji (wynoszącej 3900 Mcal) 1080 Mcal zjadają ryby planktonożerne, a 1350 Mcal — plankton drapieżny. Do reducentów dostanie się więc tylko 3900 — 1350—1080, czyli 1470 Mcal. Wraz z FU stanowi to 5070 Mcal i wobec tego umieszczamy w schemacie strzałkę odpowiadającą 5000 Mcal.

Przykładowy zestaw bloków /wszystko w megakaloriach;
Mcal = 4.187 MJ/ oznaczających grupy populacji w ekosystemie
jeziora Dalmatiego na Kamowie wygląda następująco:



Po uzupełnieniu schematu o wielkości energii eksploatowanej i akumulowanej w osadach dennych otrzymujemy ilościowy schemat przepływu energii przez ekosystem tego jeziora (ryc. 4.4.3). W podobny sposób konstruujemy modele przepływu energii przez ekosystemy cieśniny morskiej, lasu gądownego, preri i pola lucerny.

Porównanie kompletnych schematów pozwala odpowiedzieć na szereg ogólnych pytań dotyczących różnic i podobieństw w gospodarce energetycznej ekosystemów. Jest to zasadniczym celem ćwiczenia. Można więc na przykład wyra-

zić liczbowo dystrybucję energii pomiędzy łańcuch konsumentów i łańcuch troficzny reducentów; można porównać wielkość retencji energii na poszczególnych poziomach (wykorzystując podane na blokach wartości standing crop — Sc), czy wreszcie porównywać wydajności eksploatacji energii z różnych poziomów troficznych. Rozpatrywanie kilku różnych ekosystemów przedstawionych w ten sam (bardzo zresztą uproszczony) sposób daje możliwość omówienia ogólnych zasad funkcjonowania systemów ekologicznych.

LITERATURA CYTOWANA I UZUPEŁNIAJĄCA

1. Devigneaud P., 1975: Biosfera jako środowisko życia człowieka. PWRiL, Warszawa.
2. Odum E.P., 1982: Podstawy ekologii. PWRiL, Warszawa.
3. Krogius F.V., Krokhin E.M., Menshutkin V.V., 1972: The modelling of ecosystem of Lake Dalnee on an electronic computer. W zbiorze: Productivity problems of fresh-waters. Proc. IBPT-UNESCO Symp. Red.: Z. Kajak, A. Hilbricht-Ilkowska. Warszawa-Kraków.
4. Petruszewicz K., Macfadyen A., (Red.), 1970: Productivity of terrestrial animals. Principles and methods. IBP Handbook No. 13 Blackwell Sci. Publ.
- 4a. Remmert H., 1985: Ekologia. PWRiL, Warszawa.
5. Rodin L.T., Bazilewicz N.J., 1966: Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver and Boyd, Edinburgh 1966.
6. Whittaker R.H., 1970: Communities and ecosystems. Macmillan, New York.

5. Ekologia stosowana

5.1. OCENA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA EMISJAMI PRZEMYSŁOWYMI

Katarzyna SAWICKA-KAPUSTA

Zanieczyszczenie środowiska naturalnego jest nieuniknioną konsekwencją industrializacji, gwałtownego postępu techniki, wprowadzania nowych technologii, szybko rozwijającego się transportu. Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego wzrasta proporcjonalnie do wzrostu ogólnej produkcji przemysłowej.

Zanieczyszczenia to wszystkie substancje stałe, ciekłe i gazowe których udziały w powietrzu atmosferycznym przekraczają ich średnią

zawartość w czystym powietrzu lub w ogóle normalnie w nim nie występują. Zanieczyszczenia te podzielić można na pyłowe i gazowe lub: pierwotne, które występują w powietrzu w postaci takich substancji chemicznych w jakich zostały uwolnione do atmosfery ze źródła ich wytwarzania, i wtórne, będące produktami reakcji chemicznych lub fotochemicznych jakie mogą zachodzić pomiędzy składnikami atmosfery i jej zanieczyszczeniami.

Pod względem chemicznym, głównymi zanieczyszczeniami powietrza atmosferycznego są tlenek i dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, tlenki azotu (NO_x), związki metali ciężkich, w tym kadmu, ołowiu i rtęci, fluor, azotany organiczne, węglowodory alifatyczne i aromatyczne oraz ich pochodne chlorowe.

Proces rozprzestrzeniania się i zasięgu zanieczyszczeń zależy od wysokości emitorów, od rodzaju zanieczyszczeń, a także w dużym stopniu od lokalnych warunków klimatyczno-meteorologicznych, zwłaszcza kierunku, częstotliwości oraz prędkości wiatrów, temperatury, wilgotności powietrza, występowania opadów atmosferycznych. Także topografia terenu ma istotny wpływ na ich rozprzestrzenianie się. Inaczej i znacznie korzystniej przebiega przemieszczanie się, a więc wymiana mas powietrznych na otwartej przestrzeni, a inaczej w dolinach otoczonych wzniesieniami lub dolinach rzek. Podobnie na cyrkulację mas powietrznych, czyli tym samym na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, ma istotny wpływ inwersja termiczna.

5.1.1. Metody badania zanieczyszczeń

Zanieczyszczenia pyłowe. Do oceny opadu pyłu stosuje się w całym kraju metodę sedymentacyjną według metodyki Państwowego Zakładu Higieny, polegającą na miesięcznej ekspozycji pojemników szklanych (słoje Wecka) na metalowych słupach o wysokości 2 m. Wynik otrzymujemy w g/m^3 lub w t/km^2 . Natomiast stężenie pyłu w powietrzu mierzymy metodami aspiracyjnymi stosując przyrząd do pobierania próbek powietrza AKZA-1. Przyrząd ten zasysa znaną objętość powietrza atmosferycznego, która przechodzi przez filtr bibułowy (oznaczanie pyłów) i płuczkę (oznaczanie zanieczyszczeń gazowych). Przystosowany jest do pobierania próbek powietrza średniodobowych i chwilowych. Wyniki otrzymujemy w mg/m^3 powietrza. Przyrząd ten może być zasilany z sieci lub z akumulatora.

Zanieczyszczenia gazowe. W Polsce dwutlenek siarki w powietrzu oznacza się głównie metodą kontaktową, którą w wielu krajach europejskich już zarzucono.

Cylindry pomiarowe (tzw. świece) pokryte są tkaniną o powierzchni 100 cm^2 nasyconą dwutlenkiem ołowiu (PbO_2) aktywnie pochłaniającym