



# Spis treści

## Rozdział 1

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Wstęp .....                                                        | 1  |
| 1.1. Czego czytelnik powinien się spodziewać po tej książce? ..... | 1  |
| 1.2. O metodzie naukowej .....                                     | 3  |
| 1.3. Ekologia współczesna .....                                    | 12 |
| Literatura uzupełniająca .....                                     | 18 |

## Rozdział 2

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Życie biosfery .....                                     | 23 |
| 2.1. Żywy organizm .....                                 | 23 |
| 2.2. Żywa biosfera .....                                 | 24 |
| 2.3. Ekologia jako program badawczy biologii .....       | 25 |
| 2.4. Planeta Ziemia .....                                | 26 |
| 2.4.1. Ziemia we wszechświecie .....                     | 26 |
| 2.4.2. Planety Układu Słonecznego .....                  | 29 |
| 2.4.3. Środowisko kosmiczne .....                        | 31 |
| 2.4.4. Ruch Ziemi wokół Słońca, pory roku .....          | 33 |
| 2.4.5. Ruch obrotowy Ziemi wokół osi .....               | 34 |
| 2.4.6. Magnetosfera Ziemi .....                          | 34 |
| 2.4.7. Hipoteza Milankoviča .....                        | 35 |
| 2.5. Ziemia pod nogami .....                             | 38 |
| 2.5.1. Co jest w środku .....                            | 38 |
| 2.5.2. „A jednak się rusza” .....                        | 39 |
| 2.6. Cyrkulacja atmosferyczna i cykl hydrologiczny ..... | 44 |
| Literatura uzupełniająca .....                           | 48 |

## Rozdział 3

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Biogeneza i historia biosfery ..... | 49 |
| 3.1. Powstanie życia na Ziemi ..... | 49 |
| 3.1.1. Co to jest: życie .....      | 49 |

|        |                                                               |    |
|--------|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2. | Hipotezy o powstaniu życia na Ziemi .....                     | 51 |
| 3.1.3. | „Od dołu”: badania geologiczne i paleontologiczne .....       | 53 |
| 3.1.4. | „Od góry”: badania porównawcze współczesnych organizmów ..... | 58 |
| 3.1.5. | Hipotezy i eksperymenty „tu i teraz” .....                    | 61 |
| 3.1.6. | Od minerałów do praorganizmu .....                            | 62 |
| 3.1.7. | Świat RNA .....                                               | 68 |
| 3.1.8. | Powstanie współczesnych form życiowych .....                  | 70 |
| 3.2.   | Prehistoria życia i paleoekologia .....                       | 71 |
| 3.3.   | Wielkie wymierania .....                                      | 74 |
| 3.3.1. | Dokumenty paleontologiczne .....                              | 75 |
| 3.3.2. | Przyczyny katastrof .....                                     | 81 |
| 3.3.3. | Zderzenia z meteorytami .....                                 | 81 |
| 3.3.4. | Okresowość wymierań? .....                                    | 84 |
| 3.3.5. | Wulkanizm i inne konkurencyjne hipotezy .....                 | 85 |
|        | Literatura uzupełniająca .....                                | 87 |

## Rozdział 4

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| Metabolizm biosfery .....                   | 89  |
| 4.1. Cykl redoks .....                      | 89  |
| 4.2. Heterotrofia .....                     | 95  |
| 4.3. Autotrofia .....                       | 96  |
| 4.4. Pobieranie azotu i siarki .....        | 100 |
| 4.5. Oddychanie .....                       | 101 |
| 4.6. Ewolucja systemów metabolicznych ..... | 105 |
| 4.6.1. Ekosystemy cieplic głębinowych ..... | 105 |
| 4.6.2. Głęboka biosfera .....               | 108 |
| 4.6.3. Ewolucja fotosyntezy .....           | 109 |
| Literatura uzupełniająca .....              | 112 |

## Rozdział 5

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| Produkcja pierwotna biosfery .....                     | 113 |
| 5.1. Energetyka produkcji biomasy .....                | 113 |
| 5.2. Metody pomiaru produkcji pierwotnej .....         | 117 |
| 5.2.1. Metody żniwne .....                             | 119 |
| 5.2.2. Pomiary fizjologiczne .....                     | 121 |
| 5.2.3. Metoda kowariancji wirów .....                  | 122 |
| 5.2.4. Metody pośrednie .....                          | 123 |
| 5.3. Od czego zależy tempo produkcji pierwotnej? ..... | 129 |
| 5.4. Produkcja pierwotna w oceanach .....              | 131 |
| 5.5. Produkcja pierwotna na lądach .....               | 134 |
| 5.6. Bilans energetyczny biosfery .....                | 139 |
| Literatura uzupełniająca .....                         | 143 |

## Rozdział 6

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Dekompozycja, czyli rozkład biomasy ..... | 145 |
| 6.1. Istota procesu .....                 | 145 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2. Dekompozycja dokonywana przez rośliny .....                   | 147 |
| 6.3. Dekompozycja dokonywana przez konsumentów .....               | 147 |
| 6.4. Destruenci, detrytusożercy, saprofagi, „reducenci” .....      | 148 |
| 6.5. Procesy dekompozycji w wodach .....                           | 149 |
| 6.6. Procesy dekompozycji na lądach .....                          | 151 |
| 6.7. Od czego zależy tempo dekompozycji i jak się je mierzy? ..... | 152 |
| 6.8. Niedomknięte bilanse: deponowanie materii organicznej .....   | 164 |
| Literatura uzupełniająca .....                                     | 165 |

## Rozdział 7

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Cykle biogeochemiczne .....                                                     | 167 |
| 7.1. Krążenie pierwiastków w biosferze .....                                    | 167 |
| 7.2. Cykl węgla .....                                                           | 169 |
| 7.3. Bilans węgla a klimat globalny .....                                       | 183 |
| 7.3.1. Klimat się zmienia .....                                                 | 183 |
| 7.3.2. Przyczyny zmian klimatu .....                                            | 185 |
| 7.3.3. Gazy cieplarniane .....                                                  | 188 |
| 7.3.4. Spodziewane skutki wzrostu zawartości CO <sub>2</sub> w atmosferze ..... | 192 |
| 7.4. Cykl azotu .....                                                           | 195 |
| 7.5. Cykl siarki .....                                                          | 202 |
| 7.6. Cykl fosforu .....                                                         | 208 |
| 7.7. Żelazo .....                                                               | 210 |
| Literatura uzupełniająca .....                                                  | 211 |

## Rozdział 8

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| Ekosystem .....                                         | 213 |
| 8.1. Warunki życia w oceanie i na lądzie .....          | 213 |
| 8.2. Biomy Ziemi .....                                  | 216 |
| 8.2.1. Zróżnicowanie biosfery .....                     | 216 |
| 8.2.2. Gleba .....                                      | 218 |
| 8.3. Biosfera, biom, ekosystem .....                    | 222 |
| 8.4. Pojęcie ekosystemu: problemy terminologiczne ..... | 231 |
| 8.5. Struktura troficzna ekosystemu .....               | 235 |
| 8.6. Modele ekosystemów .....                           | 240 |
| 8.7. Bioenergetyka ekologiczna .....                    | 244 |
| Literatura uzupełniająca .....                          | 247 |

## Rozdział 9

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| Jezioro, las, step, ocean .....             | 249 |
| 9.1. Cztery przykłady .....                 | 249 |
| 9.2. Jezioro .....                          | 250 |
| 9.3. Las strefy umiarkowanej .....          | 264 |
| 9.3.1. Badania ekosystemów leśnych .....    | 264 |
| 9.3.2. Lasy Puszczy Niepołomickiej .....    | 265 |
| 9.3.3. Lasy naturalne i lasy użytkowe ..... | 277 |

|        |                                                            |     |
|--------|------------------------------------------------------------|-----|
| 9.4.   | Step .....                                                 | 288 |
| 9.4.1. | Ekosystem trawiasty .....                                  | 288 |
| 9.4.2. | Suchy step karaganowo-ostnicowy w Mongolii .....           | 290 |
| 9.4.3. | Wpływ gryzoni na obieg materii i produktywność stepu ..... | 292 |
| 9.5.   | Ocean .....                                                | 295 |
| 9.5.1. | Ekosystem globalny .....                                   | 295 |
| 9.5.2. | Biomy morskie .....                                        | 296 |
| 9.5.3. | Prądy wstępujące (upwellingi) .....                        | 297 |
| 9.5.4. | El Niño .....                                              | 299 |
|        | Literatura uzupełniająca .....                             | 302 |

## Rozdział 10

|                                                                  |                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| Funkcjonowanie ekosystemów — w poszukiwaniu ogólnych zasad ..... |                                                                    | 303 |
| 10.1.                                                            | Struktura sieci troficznej i przepływ energii w ekosystemach ..... | 303 |
| 10.2.                                                            | Przepływ energii i materii między poziomami troficznymi .....      | 308 |
| 10.3.                                                            | Analiza sieci troficznych .....                                    | 324 |
| 10.4.                                                            | Od czego zależy długość łańcuchów troficznych .....                | 327 |
| 10.5.                                                            | Regulacja ekosystemu: „z góry” czy „z dołu”? .....                 | 329 |
| 10.6.                                                            | Jak powstaje ekosystem .....                                       | 331 |
| 10.7.                                                            | Stabilność ekosystemów .....                                       | 335 |
| 10.8.                                                            | Trwałość biosfery .....                                            | 347 |
|                                                                  | Literatura uzupełniająca .....                                     | 355 |

## Rozdział 11

|                             |                                                                     |     |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Różnorodność biosfery ..... |                                                                     | 357 |
| 11.1.                       | Zagadka różnorodności biosfery .....                                | 357 |
| 11.2.                       | Zróżnicowanie form życiowych .....                                  | 360 |
| 11.2.1.                     | Źródła zmienności organizmów żywych .....                           | 360 |
| 11.2.2.                     | Każdy organizm jest unikatem .....                                  | 361 |
| 11.2.3.                     | Różnorodność gatunkowa .....                                        | 363 |
| 11.2.4.                     | Różnorodność prebiotyczna i wczesna ewolucja form życiowych .....   | 364 |
| 11.2.5.                     | Nieciągłość zmienności .....                                        | 365 |
| 11.3.                       | Zmiany liczby gatunków w historii biosfery .....                    | 366 |
| 11.4.                       | Ile gatunków żyje obecnie na Ziemi? .....                           | 374 |
| 11.4.1.                     | Stan znajomości współczesnej flory i fauny .....                    | 374 |
| 11.4.2.                     | Próby oszacowania rzeczywistej liczby gatunków .....                | 378 |
| 11.5.                       | Przestrzenna zmienność różnorodności gatunkowej w biosferze .....   | 386 |
| 11.5.1.                     | Geograficzne wzorce różnorodności gatunkowej .....                  | 386 |
| 11.5.2.                     | Przyczyny geograficznego zróżnicowania liczby gatunków .....        | 393 |
| 11.5.3.                     | Zależność liczby gatunków od wielkości arealu .....                 | 405 |
| 11.6.                       | Znaczenie globalnej różnorodności gatunkowej i jej zagrożenia ..... | 409 |
| 11.6.1.                     | Wymierania plejstoceny i współczesne .....                          | 409 |
| 11.6.2.                     | Pożytki z różnorodności biologicznej .....                          | 418 |
|                             | Literatura uzupełniająca .....                                      | 421 |

## Rozdział 12

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Organizm wśród organizmów .....                                                | 423 |
| 12.1. Środowisko biotyczne .....                                               | 423 |
| 12.2. Ewolucja interakcji międzygatunkowych .....                              | 424 |
| 12.3. Konkurencja .....                                                        | 429 |
| 12.3.1. Model konkurencji .....                                                | 429 |
| 12.3.2. Eksperymentalne badania nad konkurencją .....                          | 439 |
| 12.3.3. Znaczenie konkurencji międzygatunkowej dla różnorodności biosfery .... | 450 |
| 12.4. Eksploatacja .....                                                       | 451 |
| 12.4.1. Niesymetryczne interakcje międzygatunkowe .....                        | 451 |
| 12.4.2. Pasożytnictwo .....                                                    | 451 |
| 12.4.3. Drapieżnictwo .....                                                    | 457 |
| 12.4.4. Roślinożerność .....                                                   | 471 |
| 12.5. Mutualizm .....                                                          | 476 |
| 12.5.1. Symbiozy metaboliczne .....                                            | 476 |
| 12.5.2. Zoogamia i zoochoria .....                                             | 487 |
| 12.5.3. Przymierze obronne .....                                               | 496 |
| 12.5.4. Komensalizm .....                                                      | 497 |
| 12.5.5. Znaczenie mutualizmu dla różnorodności biosfery .....                  | 498 |
| Literatura uzupełniająca .....                                                 | 500 |

## Rozdział 13

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Różnorodność gatunkowa w skali lokalnej .....                                                                                                                 | 501 |
| 13.1. Struktura różnorodności .....                                                                                                                           | 501 |
| 13.1.1. Składowe różnorodności gatunkowej .....                                                                                                               | 501 |
| 13.1.2. Powtarzalność składu gatunkowego .....                                                                                                                | 506 |
| 13.2. Zespół i biocenoza .....                                                                                                                                | 507 |
| 13.2.1. Czy to, czym zajmuje się ekologia, w ogóle istnieje? .....                                                                                            | 507 |
| 13.2.2. Burzliwe dzieje kilku pojęć .....                                                                                                                     | 511 |
| 13.2.3. Wzorce i mechanizmy .....                                                                                                                             | 515 |
| 13.3. Powtarzalne wzorce w strukturze zespołów .....                                                                                                          | 515 |
| 13.3.1. Wzorec I: Redundancja biocenoz. Gatunków jest zawsze „za dużo”,<br>o wiele więcej niż kategorii troficznych realizujących funkcje<br>ekosystemu ..... | 515 |
| 13.3.2. Wzorec II: Wielkość populacji gatunków wchodzących w skład zespołów<br>ma charakterystyczny rozkład: mało dużych, dużo małych .....                   | 519 |
| 13.3.3. Wzorec III: Wielkości ciała gatunków wchodzących w skład zespołów<br>mają charakterystyczne rozkłady: mało dużych, dużo małych .....                  | 526 |
| 13.3.4. Wzorec IV: Gatunki wchodzące w skład zespołu w sposób<br>charakterystyczny różnią się od siebie („zasada ograniczonego<br>podobieństwa”) .....        | 534 |
| 13.3.5. Wzorec V: Z danej puli gatunków w podobnych warunkach mogą się<br>tworzyć różne zespoły, ale ich skład nie jest przypadkowy .....                     | 541 |
| 13.3.6. Wzorec VI: Konwergencja zespołów .....                                                                                                                | 544 |
| 13.3.7. Co wynika z analizy powtarzalnych wzorców w strukturze<br>zespołów? .....                                                                             | 548 |
| 13.4. Dynamika biocenoz .....                                                                                                                                 | 551 |
| 13.4.1. Wzorce zmian struktury biocenozy w czasie: sukcesja .....                                                                                             | 551 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.4.2. Sukcesja: proces deterministyczny czy losowy? .....                                  | 558 |
| 13.4.3. Równowaga w biocenozie .....                                                         | 562 |
| 13.4.4. Mechanizm zrównoważenia liczby gatunków w zespole — model<br>biogeografii wysp ..... | 562 |
| 13.5. Znaczenie lokalnej różnorodności gatunkowej .....                                      | 565 |
| 13.5.1. Czy różnorodność gwarantuje stabilność? Rozważania teoretyczne .....                 | 565 |
| 13.5.2. Potwierdzenia eksperymentalne .....                                                  | 568 |
| 13.5.3. Czy różnorodność jest dobra dla ekosystemu? .....                                    | 571 |
| Literatura uzupełniająca .....                                                               | 572 |

## Rozdział 14

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ekologia gatunku .....                                                              | 573 |
| 14.1. Populacja jednogatunkowa .....                                                | 573 |
| 14.1.1. Poziomy organizacji życia .....                                             | 573 |
| 14.1.2. Dynamika populacji .....                                                    | 575 |
| 14.1.3. Wpływ czynników niezależnych od zagęszczenia na dynamikę<br>populacji ..... | 577 |
| 14.2. Regulacja liczebności populacji .....                                         | 579 |
| 14.2.1. Czynniki zależne od zagęszczenia .....                                      | 579 |
| 14.2.2. Konkurencja wewnątrzgatunkowa — podział zasobów .....                       | 587 |
| 14.2.3. Samoprzerzedzenie .....                                                     | 588 |
| 14.2.4. Terytorializm .....                                                         | 592 |
| 14.2.5. Stabilizujący wpływ zmienności indywidualnej .....                          | 594 |
| 14.2.6. Warunki przetrwania gatunku .....                                           | 597 |
| 14.2.7. Populacja populacji, czyli metapopulacja .....                              | 599 |
| 14.3. Demografia .....                                                              | 604 |
| 14.3.1. Losy poszczególnych osobników .....                                         | 604 |
| 14.3.2. Wskaźnik zastępowania .....                                                 | 605 |
| 14.3.3. Tabela życia dla kohorty .....                                              | 607 |
| 14.3.4. Macierz projekcji .....                                                     | 622 |
| 14.3.5. Związki między współczynnikami dynamiki populacji .....                     | 626 |
| 14.4. Strategie ewolucyjne gatunków .....                                           | 628 |
| 14.4.1. Historie życiowe .....                                                      | 628 |
| 14.4.2. Kształtowanie strategii życiowej przez dobór naturalny .....                | 631 |
| 14.4.3. Organizm w środowisku — bioenergetyka ekologiczna .....                     | 635 |
| Literatura uzupełniająca .....                                                      | 646 |
| Epilog .....                                                                        | 649 |

## Dodatek 1

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Zastosowanie badań satelitarnych w ekologii ..... | 653 |
| D1.1. Satelity do użytku codziennego: GPS .....   | 653 |
| D1.2. Radiotelemetria satelitarna .....           | 656 |
| D1.3. Metody teledetekcji satelitarnej .....      | 658 |
| D1.4. Dostęp do danych satelitarnych .....        | 671 |
| D1.5. Lotem trutnia .....                         | 672 |
| Literatura uzupełniająca .....                    | 673 |

## Dodatek 2

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| Przewodnik po metodach statystyki wielowymiarowej .....          | 675 |
| Przykłady zastosowań statystyki wielowymiarowej w ekologii ..... | 686 |
| Literatura uzupełniająca .....                                   | 687 |

## Dodatek 3

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Metody molekularne w ekologii .....                                                          | 689 |
| D3.1. „Ekologia molekularna” .....                                                           | 689 |
| D3.2. Markery genetyczne .....                                                               | 691 |
| D3.3. Warsztat molekularny w ekologii .....                                                  | 692 |
| D3.4. Wybrane przykłady zastosowań metod molekularnych w różnych<br>obszarach ekologii ..... | 696 |
| D3.4.1. Struktura i funkcjonowanie ekosystemów .....                                         | 696 |
| D3.4.2. Ekologia gatunku, populacji i osobnika .....                                         | 700 |
| Literatura uzupełniająca .....                                                               | 703 |
| Słownik wybranych pojęć z zakresu ekologii .....                                             | 705 |
| Źródła ilustracji .....                                                                      | 757 |
| Indeks rzeczowy .....                                                                        | 765 |
| Indeks nazw organizmów .....                                                                 | 785 |