

Przedmowa

1. Ziemia jako system 1

Badanie systemu Ziemi	2
Składniki systemu	2
Delikatny system	2
Zasada uniformitaryzmu	3
Aktualizm: terazniejszość kluczem do przeszłości	3
Koniec katastrofizmu	5
Natura i pochodzenie skał	6
Podstawowe typy skał	6
Klasyfikacja ciał skalnych	10
Trzy zasady Steno	10
Cykl skalny	11
Globalne datowanie zapisu skalnego	14
Skamieniałości, warstwy przewodnie i wiek względny skał	14
Radioaktywność i bezwzględny wiek skał	15
Geologiczna skala czasu	15
Ewolucja skali czasowej	17
Obraz wnętrza Ziemi	18
Gradient gęstościowy	18
Litosfera i astenosfera	20
Tektonika płyt	21
Ruch płyt	21
Siła napędowa tektoniki płyt	24
Tektonika płyt a cykl skalny	25
Cykl wodny	25
Rezerwuary	25
Zależności od cyklu skalnego	27
Zmiany kierunkowe w historii Ziemi	28
Ewolucja życia	28
Zmiany kierunkowe cech fizycznych i chemicznych	29
Historia ekosystemu	29

Epizodyczne zmiany w historii Ziemi	30
Luki w zapisie geologicznym	30
Depozycja katastroficzna	32
Epizodyczne zdarzenia w historii życia	32

Podsumowanie	32
Pytania przeglądowe	33
Literatura dodatkowa	34

2. Minerale skałotwórcze i skały 35

Struktura minerałów	35
Atomy, pierwiastki i izotopy	35
Tablica 2. Skały i ich pochodzenie	36
Reakcje chemiczne	39
Sieci krystaliczne	41
Wymiana jonowa	43
Właściwości minerałów	44
Twardość	44
Masa właściwa	45
Łupliwość	45
Powstawanie minerałów	45
Odkrywanie genezy skał	46
Rodziny minerałów skałotwórczych	46
Typy skał	46
Skały magmowe	48
Osady i skały osadowe	51
<i>Warto przeczytać 2. Dlaczego nasze budynki zbudowane są ze skamieniałości?</i>	58
Skały metamorficzne	62
Podsumowanie	65
Pytania przeglądowe	66
Literatura dodatkowa	67

3. Różnorodność życia 69

- Tablica 3. Sześć królestw 70
- Skamieniałości 72
 - Części twarde – najczęściej zachowane elementy szkieletowe zwierząt 72
 - Zachowanie części miękkich zwierząt 72
 - Permineralizacja 73
 - Ośrodk i odciski 73
 - Skamieniałości śladowe 74
 - Kopalne paliwa 75
 - Jakość zapisu paleontologicznego 75
- Królestwa 76
 - Grupy taksonomiczne 77
 - Rekonstrukcja związków filogenetycznych 79
- Identyfikacja kładów i relacji między nimi 79
 - Ogólny kladogram kręgowców 80
 - Ogólne drzewo filogenetyczne kręgowców 80
 - Analiza na niższym szczeblu taksonomicznym w rodzinie koniowatych 82
 - Jakość rekonstrukcji filogenetycznych 84
- Prokarioty. Dwa królestwa bakterii 85
 - Archeobakterie 85
 - Eubakterie 85
- Królestwa Protista i grzybów 86
 - Protista 86
 - Grzyby 89
- Królestwo roślin 90
 - Zarodnikowe rośliny naczyniowe 91
 - Rośliny nasienne 92
- Królestwo zwierząt 92
 - Gąbki. Proste bezkręgowce 92
 - Parzydełkowce (Cnidaria) 93
 - Strunowce (Chordata) 102
- Warto przeczytać 3. Odkrywając niektóre bardzo stare kręgowce* 104
- Podsumowanie 107
- Pytania przeglądowe 108
- Literatura dodatkowa 109

4. Środowisko i życie 111

- Tablica 4. Środowiska naturalne i organizmy na Ziemi 112
- Podstawy ekologii 114
 - Pozycja gatunku w jego środowisku 115
 - Zespoły organizmów 116
 - Biogeografia 118
- Atmosfera 119
 - Skład chemiczny atmosfery 120
 - Temperatura i cyrkulacja atmosfery 120
- Środowiska lądowe 123
 - Równoleżnikowe strefy klimatyczne a roślinność 124
 - Wysokość nad poziomem morza a klimat 128
 - Łąd, woda i okresowe zmiany temperatury 130
 - Kopalne rośliny jako wskaźnik klimatu 132
- Królestwo mórz 133
 - Ruchy wód 133
 - Głębokość morza 136
 - Tryb życia organizmów morskich i sieci troficzne 138
 - Temperatura mórz a biogeografia 140
- Warto przeczytać 4. Delikatne rafy* 142
 - Zasolenie jako czynnik ograniczający 143
 - Środowiska słodkowodne 144
- Podsumowanie 144
- Pytania przeglądowe 145
- Literatura dodatkowa 146

5. Środowiska sedymentacyjne 147

- Tablica 5. Środowiska sedymentacyjne i depozycja osadów 148
- Gleby 150
 - Powstawanie gleby 150
 - Gleby kopalne 151
- Jeziorne i lodowcowe środowiska sedymentacji 152
 - Środowisko jezior słodkowodnych 152
 - Środowisko glacialne 152

Pustynie i suche obszary bezodpływowe	155
Dolina Śmierci. Przykład współczesny	156
Wydmy piaszczyste	158
Systemy rzeczne jako środowiska sedymentacji	158
Stożki aluwialne i osady rzek roztokowych klimatu wilgotnego	158
Rzeki meandrujące	159
Delt	162
<i>Warto przeczytać 5. Kurcząca się delta Missisipi</i>	166
Środowiska sedymentacji morskiej	167
Zespół wysp barierowych i lagun	167
Osady szelfowe	168
Skamieniałości jako wskaźnik środowiska morskiego	169
Rafy	170
Platformy węglanowe	174
Osady głębokomorskie	176
Podmorskie stożki i turbidyty	176
Osady pelagiczne	178
Podsumowanie	180
Pytania przeglądowe	181
Literatura dodatkowa	182

6. Korelacja i datowanie zapisu skalnego 183

Geologiczna skala czasu	183
Następstwo skamieniałości	183
Tablica 6. Metody korelacji stratygraficznej	184
Systemy geologiczne	187
Jednostki stratygraficzne	188
Jednostki chronostratygraficzne a jednostki geochronologiczne	189
Jednostki biostratygraficzne	189
Magnetostratygrafia i chronostratygraficzne jednostki polaryzacji magnetycznej	191
Jednostki skalne, profile stratygraficzne i facje	193

Pierwsze szacunki bezwzględnego wieku Ziemi	197
Zasolenie oceanów	197
Tempo akumulacji osadów	197
Temperatura Ziemi	198
Promieniotwórczość a wiek bezwzględny	198
Datowanie radiometryczne	199
Użyteczne izotopy	200
Radioaktywność a skamieniałości. Precyzja korelacji	203
Inne metody datowania stratygraficznego	205
Stratygrafia izotopowa	205
Stratygrafia zdarzeniowa	206
Niezgodności, powierzchnie warstw i stratygrafia sejsmiczna	209
Sekwencje	211
Podsumowanie	213
<i>Warto przeczytać 6. Szukając ropy u południowych wybrzeży New Jersey</i>	214
Pytania przeglądowe	216
Literatura dodatkowa	216

7. Ewolucja i zapis paleontologiczny 217

Tablica 7. Ewolucja życia	218
Wkład Karola Darwina	221
Wyprawa na okręcie „Beagle”	221
Dowody anatomiczne	225
Dobór naturalny	225
Geny, DNA i chromosomy	226
Populacje, gatunki i specjacja	228
Wymieranie	228
Tempo powstawania i wymierania taksonów	229
Radiacja ewolucyjna	229
Tempo wymierania	233
Konwergencja ewolucyjna	235
<i>Warto przeczytać 7. Nadchodzące masowe wymieranie</i>	236

Trendy ewolucyjne	238
Zmiana rozmiarów ciała	238
Struktura trendów ewolucyjnych	242
Nieodwracalność ewolucji	245

Podsumowanie 246

Pytania przeglądowe 246

Literatura dodatkowa 247

8. Teoria tektoniki płyt 249

Historia poglądów na temat dryfu kontynentów 249

Tablica 8. Elementy tektoniki płyt 250

Alfred Wegener. Pionier XX wieku 254

Aleksander Du Toit i sekwencja gondwańska 255

 Odrzucenie teorii dryfu kontynentów 257

 Paleomagnetyczny rebus 258

Pojawienie się tektoniki płyt 260

 Spreding – rozszerzanie się dna oceanicznego 260

 Triumf paleomagnetyzmu 264

Uskoki i wulkanizm wzdłuż granic płyt 265

 Typy uskoków 265

 Co się dzieje w grzbietach śródoceanicznych? 266

 Uskoki transformacyjne 267

 Subdukcja w strefach rowów oceanicznych 268

Warto przeczytać 8. Pierścień ognia 270

 Dlaczego płyty przemieszczają się? 272

 Co się dzieje z subdukowanymi płytami? 272

 Względny ruch płyt 272

 Rzeczywisty ruch płyt 274

Podsumowanie 275

Pytania przeglądowe 276

Literatura dodatkowa 276

9. Tektonika kontynentów a pasma górskie 277

Tablica 9. Powstawanie i deformacje obszarów krawędzi kontynentalnych 278

Procesy ryftowe na kontynentach 280

 Ryfty trójramienne i plamy gorąca 280

 Charakterystyka geologiczna

 kontynentalnych dolin ryftowych 281

 Krawędzie pasywne kontynentów 283

Odkształcanie i upłynnianie skał 284

 Fałdowanie 285

 Opisowa terminologia fałdów 287

Powstawanie gór 287

 Orogeneza na skutek kolizji

 kontynentów 288

 Orogeneza bez kolizji

 kontynentalnej 289

 Mechanizmy deformacji 291

 Depozycja w basenie przedpola 292

Andy. Powstawanie gór bez kolizji kontynentów 294

Warto przeczytać 9. Gdzie Ziemia się trzęsie? 296

Himalaje 298

 Ruch płyt 298

 Przebieg orogenezy 299

Przyłączanie drobnych obszarów kontynentalnych do kontynentów 302

Tektonika wewnątrz kontynentów 302

Podsumowanie 304

Pytania przeglądowe 305

Literatura dodatkowa 306

10. Główne cykle geochemiczne 307

Rezerwuary 307

Tablica 10. Główne cykle chemiczne na Ziemi 308

 Przepływ składników między rezerwuarami 310

 Sprężenie zwrotne 310

Dwutlenek węgla, tlen i procesy biologiczne 311	Powstanie Układu Słonecznego 348
Cykl fotosynteza–oddychanie u roślin 311	Słońce 349
Fotosynteza a przyrost tkanek 312	Planety 349
Oddychanie u zwierząt 313	Powstanie Ziemi i Księżyca 350
Oddychanie u reducentów (destruentów) 314	Warstwy Ziemi 350
Pogrzebanie szczątków roślinnych a chemizm atmosfery 314	Katastroficzne narodziny Księżyca 351
Ekosystemy wodne 317	Wczesna atmosfera Ziemi 352
Zastosowanie izotopów do badania cykli globalnych 318	Oceany 352
Izotopy węgla 319	Młodość Ziemi 353
Tlen atmosferyczny 321	Kratery na powierzchni Księżyca 353
Atmosferyczny dwutlenek węgla 322	Cieplesza Ziemia i mniejsze płyty 354
Znaczenie procesów wietrzenia 323	Narodziny kontynentów 355
Zmiany stężenia atmosferycznego CO ₂ w fanerozoiku 326	Plamy gorąca. Miejsca tworzenia kwaśnej skorupy 355
Ujemne sprzężenie zwrotne. W jaki sposób jest kontrolowana zawartość CO ₂ w atmosferze? 328	Dlaczego archaiczne kontynenty były małe? 357
Temperatura a tempo wietrzenia 328	<i>Warto przeczytać 11. Groźba z dalekiej przestrzeni</i> 358
Opady a tempo wietrzenia 328	Najstarsza skorupa kontynentalna 360
Izotopy tlenu, klimat i cykl hydrologiczny 330	Powstawanie skorupy kontynentalnej 360
Temperatura a stosunki izotopowe w szkieletach 330	Skały archaiczne 360
Zasolenie a stosunki izotopowe 331	Ogólne cechy skał osadowych 361
Objętość pokryw lodowych a izotopy 333	Pasy zieleńcowe 361
Chemizm oceanu a skład mineralny szkieletów 334	Pojawienie się większych kratonów 363
<i>Warto przeczytać 10. Chemizm oceanu a kreda pisząca</i> 336	Życie archaiku 365
Podsumowanie 338	Zapis paleontologiczny 366
Pytania przeglądowe 339	Aminokwasy 367
Literatura dodatkowa 340	Świat RNA? 368
11. Eon archaiczny prekambru 341	Gdzie powstało życie? 368
Tablica 11. Główne zdarzenia archaiku 342	Podsumowanie 372
Wiek planet i wszechświata 345	Pytania przeglądowe 373
	Literatura dodatkowa 373
	12. Eon proterozoiczny 375
	Tablica 12. Główne zdarzenia eonu proterozoicznego 376
	Pojawienie się współczesnego stylu procesów orogenicznych 378
	Zdarzenia globalne w okresie 2,5–1,0 mld lat temu (paleo- i mezoproterozoik) 381

Wczesnoproterozoiczne	Wczesny ordowik	419					
złodowacenie	381	Wielka ordowicka radiacja życia	420				
Życie organiczne wczesnego	proterozoiku	381	Życie zwierząt i schyłek	stromatolitów	422		
Wzrost stężenia tlenu w atmosferze	385	Wymieranie i różnorodność w morzu	423	Czy rośliny wyszły na ląd?	423		
Era neoproterozoiczna	387	Paleogeografia kambru	424	Okresowe masowe wymierania	trylobitów	426	
Epoki lodowcowe	387	Paleogeografia ordowiku	428	Złodowacenie i obniżenie się	poziomu morza	428	
Początki współczesnego życia	388	Wielkie masowe wymieranie	430	Przykłady regionalne	432		
Eksplozywna ewolucja zwierząt	388	Orogeniza takoańska wschodniej	Laurencji	432	Stabilna zachodnia Laurencja	436	
Wzrost i kurczenie się kontynentów	393	Podsumowanie	438	Pytania przeglądowe	439		
Formowanie się Ameryki Północnej	395	Literatura dodatkowa	439	14. Środkowy paleozoik	441		
Akrecja kontynentalna	395	Tablica 14. Główne zdarzenia	środkowego paleozoiku	442	Nowa ekspansja życia	444	
Większy kontynent	397	Nowa ekspansja życia	444	Odrodzenie w środowiskach wodnych	444		
Środkowoproterozoiczny ryfting	w środkowej i wschodniej	Warto przeczytać 14. Szczęki, ewolucja	i inżynieria genetyczna	452	Rośliny podbijają ląd	454	
części Ameryki Północnej	397	Zwierzęta wychodzą na brzeg	458	Paleogeografia środkowego paleozoiku	460		
Warto przeczytać 12. Złotonośne góry	398	Początek nowego okresu glacialnego	462	Późnodewońskie masowe wymieranie	462		
Strefa orogeniczna Grenville	399	Przykłady regionalne	464	Wschodnia część Ameryki Północnej	464		
Powstawanie i rozpad	superkontynentów	401	Eurameryka (Laurussia)	466	Podsumowanie	472	
Powstanie superkontynentu Rodinia	402	Pytania przeglądowe	473	Literatura dodatkowa	474		
Narodziny Oceanu Spokojnego	i zachodnich wybrzeży Ameryki	Tablica 14. Główne zdarzenia	środkowego paleozoiku	442	Nowa ekspansja życia	444	
Północnej	402	Nowa ekspansja życia	444	Odrodzenie w środowiskach wodnych	444		
Kolejny superkontynent?	403	Warto przeczytać 14. Szczęki, ewolucja	i inżynieria genetyczna	452	Rośliny podbijają ląd	454	
Narodziny paleozoicznych	kontynentów	403	Zwierzęta wychodzą na brzeg	458	Paleogeografia środkowego paleozoiku	460	
Podsumowanie	404	Początek nowego okresu glacialnego	462	Późnodewońskie masowe wymieranie	462		
Pytania przeglądowe	404	Przykłady regionalne	464	Wschodnia część Ameryki Północnej	464		
Literatura dodatkowa	405	Eurameryka (Laurussia)	466	Podsumowanie	472		
13. Wczesny paleozoik	407	Podsumowanie	472	Pytania przeglądowe	473		
Kambryjska eksplozja życia	407	Literatura dodatkowa	474	14. Środkowy paleozoik	441		
Tablica 13. Główne zdarzenia wczesnego	paleozoiku	408	Życie we wczesnym kambrze	410	Życie w kambrze środkowym	i późnym	416
Życie we wczesnym kambrze	410	Życie w kambrze środkowym	i późnym	416	Życie ordowiku	417	
Życie w kambrze środkowym	i późnym	416	Warto przeczytać 13. Co jest potrzebne,	aby przetrwać?	418		

15. Późny paleozoik 475

Tablica 15. Główne zdarzenia późnego paleozoiku 476

Życie 478

Nowe formy życia w morzach 478

Aragonitowe morza i rafy 481

Rośliny lądowe 481

Warto przeczytać 15. Mokradła wtedy i dzisiaj 484

Zwierzęta słodkowodne i lądowe 488

Paleogeografia późnego paleozoiku 492

Wczesny karbon. Wapienie i lodowce 492

Zdarzenia na przełomie wczesnego i późnego karbonu 492

Późny karbon. Kolidacja kontynentów i wzrost gradientu temperaturowego 494

Perm. Złożoność klimatu 495

Atmosferyczny dwutlenek węgla a klimat karbonu i permu 496

Późnopermskie wymieranie 497

Pierwszy epizod wymierania 497

Końcowe wymieranie 498

Przykłady regionalne 500

Orogeneza allegeńska i Appalachy 502

Ruchy górotwórcze w południowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych 502

Cyklotemy węglowe 506

Perm zachodniego Teksasu 509

Zachodnia krawędź Ameryki

Północnej 513

Podsumowanie 513

Pytania przeglądowe 514

Literatura dodatkowa 515

16. Wczesny mezozoik 517

Tablica 16. Główne zdarzenia wczesnego mezozoiku 518

Życie w oceanach. Nowa fauna 520

Dna mórz 520

Życie w strefie pelagicznej 522

Życie na lądach 526

Rośliny lądowe. Mezozoiczna flora nagozależkowa 526

Zwierzęta lądowe. Początek wieku dinozaurów 528

Warto przeczytać 16. Jakie były dinozaury? 534

Paleogeografia wczesnego mezozoiku 536

Pangea w triasie 536

Rozpad Pangei 537

Świat jurajski 539

Masowe wymierania 540

Ameryka Północna we wczesnym mezozoiku 541

Wschodnie baseny uskokowe 541

Zachodnia część Ameryki

Północnej 543

Podsumowanie 549

Pytania przeglądowe 549

Literatura dodatkowa 550

17. Kreda 551

Świat organiczny 551

Tablica 17. Główne zdarzenia okresu kredowego 552

Życie w strefie pelagicznej 554

Życie na dnie morza 557

Pojawienie się współczesnych morskich drapieżników 558

Rośliny kwiatowe opanowują ląd 559

Wielkie dinozaury i niewielkie ssaki 561

Paleogeografia kredy 563

Nowe kontynenty i oceany 564

Warto przeczytać 17. Nagrodzona łagodność 565

Poziom morza, cyrkulacja oceaniczna i klimat 567

Masowe wymieranie w końcu kredy 571

Dowody na zderzenie z planetoidą 571

Skutki impaktu 574

Lekcja dla ludzkości 575

Skamieniałości i datowanie
wymierania 575
Konsekwencje wymierania 575

Ameryka Północna w okresie
kredowym 577

Kontynuacja ruchów górotwórczych
w Kordylierach 577
Wybrzeża Zatoki Meksykańskiej i basen
wewnętrzny 578
Wschodnie wybrzeża.
Rozwój współczesnego szelfu
kontynentalnego 581

Europejskie morza kredy piszące 582

Podsumowanie 583

Pytania przeglądowe 583

Literatura dodatkowa 584

18. Paleogen 585

Tablica 18. Główne zdarzenia
paleogenu 586

Zdarzenia globalne 588
Ewolucja życia w morzu 588
Ewolucja roślin lądowych 590
Wczesnopaleogeńskie zwierzęta lądowe
i słodkowodne 590
Oligoceńskie ssaki 595
Zmiana klimatu i masowe
wymieranie 597

*Warto przeczytać 18. Globalne ocieplenie
w eocenie 600*

Zdarzenia regionalne 602
Antarktyda i zmiany globalne 602
Zmiany konfiguracji lądów i mórz
w pobliżu bieguna północnego 603
Tektonika zachodniej części Ameryki
Północnej 603
Wybrzeża zatokowe 609

Podsumowanie 610

Pytania przeglądowe 610

Literatura dodatkowa 611

19. Neogen i plejstocen 613

Tablica 19. Główne zdarzenia neogenu
i plejstocenu 614

Zdarzenia globalne 616
Życie w wodzie 616
Życie na lądach 616
Zmiana klimatyczna w końcu neogenu
i w plejstocenie 621

Zdarzenia regionalne 633
Ewolucja tektoniczna zachodniej części
Ameryki Północnej 634

*Warto przeczytać 19. Największa powódź
w historii Ziemi 642*

Zachodni Atlantyk i obszary
przyległe 643
Narodziny Morza Karaibskiego 644
Wielka amerykańska wymiana
ssaków 646
Koniec Tetydy 647

Ewolucja człowieka 648
Wczesne małpy w Afryce i w Azji 648
Australopiteki 649
Homo erectus, nasz współczesny
przodek 653
Nasz kuzyn – neandertalczyk 654

Podsumowanie 656

Pytania przeglądowe 657

Literatura dodatkowa 658

20. Holocen 659

Tablica 20. Główne zdarzenia
holocenu 660

Odwrót lodowców 662

Nagłe globalne zdarzenia wczesnego
holocenu 663

Pierwsi Amerykanie 667

Nagłe wymarcie wielkich ssaków 668
Hipoteza wielkiego zabijania 670
Hipoteza klimatyczna 670

Kompromis. Zarówno klimat, jak i łowiectwo	670
Zmiany klimatyczne ostatnich 10 000 lat	671
Początki rolnictwa	671
Okres optimum klimatycznego	672
Lodowce, granica lasu i słoje przyrostowe	672
Temperatura od końca okresu optimum klimatycznego	674
Epizody osuszania	675
Poziom morza	676
Konsekwencje wczesnoholocenijskiego podniesienia się poziomu morza	677
Linia brzegowa w ciągu ostatnich 7000 lat	677
Wiek XX i XXI. Wpływ człowieka	680
Aktywność ludzka i efekt cieplarniany	680
Metan z tundry	681
Konsekwencje przyszłych zmian klimatycznych	681
Bezpośredni wpływ wzrostu zawartości CO ₂ na rośliny	682
Podniesienie się poziomu morza	682
<i>Warto przeczytać 20. Czy pokrywa lodowa Antarktydy kurczy się?</i>	684
Podsumowanie	686
Pytania przeglądowe	687
Literatura dodatkowa	688
Apendyks. Podział stratygraficzny	689
Źródła ilustracji	693
Indeks	695