

Spis treści

Przedmowa do wydania pierwszego	XVII
Przedmowa do wydania drugiego	XIX
Stosowane skróty	XXI
Chemia środowiska w perspektywie globalnej	XXV
1. CHEMIA ŚRODOWISKA	1
Wczesna historia Ziemi	1
Początki życia	2
Współczesna Ziemia	3
1.1. Problemy rozpatrywane w tej książce	4
Układy i otoczenie w chemii środowiska	4
O czym jest ta książka	6
1.2. Składniki środowiska	7
Podział substancji między jej różne postaci	8
1.3. Procesy chemiczne	10
1.4. Skutki antropogeniczne	14
Pytania Fermiego	16
Podsumowanie	17
Literatura uzupełniająca	18
CZĘŚĆ A	
ATMOSFERA ZIEMSKA	
2. ATMOSFERA ZIEMSKA	21
2.1. Atmosfera ziemska — powietrze, którym oddychamy	21
Stratyfikacja atmosfery	22
Ciśnienie atmosferyczne	24
2.2. Wpływ promieniowania słonecznego na skład chemiczny atmosfery	25
Troposfera	27

2.3. Reakcje i obliczenia w chemii atmosfery	29
Miary stężenia składników atmosfery	29
Typy reakcji przebiegających w atmosferze ziemskiej	30
Reakcje atmosferyczne wymagające przeprowadzenia obliczeń termodynamicznych	30
Obliczenia kinetyczne	34
Reakcje fotochemiczne	36
Reakcje z udziałem rodników	39
Rodniki hydroksylowe jako substancja o znaczeniu przemysłowym	42
Literatura uzupełniająca	43
Zadania	43
3. CHEMIA STRATOSFERY — OZON	46
3.1. Problemy z ozonem stratosferycznym	46
Wpływ promieniowania słonecznego na życie roślin i zwierząt	48
Promieniowanie UV-B zagrożeniem dla ludzi	49
Pomiar stężenia ozonu w atmosferze	50
Stężenie ozonu w stratosferze	53
3.2. Chemia samego tlenu — powstawanie i aktywność molekularna ozonu	54
Cykl Chapmana	54
Warstwa ozonu (ozonosfera)	57
3.3. Procesy katalitycznego rozkładu ozonu	58
Katalizatory rozkładu ozonu	58
Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających wodór (HO_x)	59
Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających azot (NO_x)	60
Tlenek diazotu (N_2O)	60
Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających chlor (ClO_x)	61
3.4. Chlorofluorowęglowodory (CFC)	63
Właściwości połączeń chlorofluorowęglowych	63
Protokół Montrealski — historia częściowego sukcesu w międzynarodowych negocjacjach	65
Zamienniki CFC	66
Połączenia zawierające brom	69
Obliczenia kinetyczne	70
3.5. Inne reakcje z udziałem ozonu stratosferycznego	72
Cykle zerowe — reakcje, które niczego nie zmieniają	72
Cykle podtrzymujące i powstawanie związków-zbiorników	73
3.6. Powstawanie antarktycznej i arktycznej „dziury ozonowej”	74
Literatura uzupełniająca	78
Internet jako źródło informacji dotyczących monitoringu ozonu	78
Zadania	78
4. CHEMIA TROPOSFERY — SMOG	82
4.1. Czym jest smog	83
Smog klasyczny	83
Smog fotochemiczny	84

4.2. Chemia smogu fotochemicznego	85
Chemia powstawania rodników hydroksylowych	87
Utlenianie węglowodorów	89
Reakcje wtórne (indukowane)	90
Charakter smogu fotochemicznego	91
Lotne związki organiczne i ich utlenianie	92
Związki nienasycone — alkeny	94
Związki nienasycone — alkiny	95
Związki nienasycone — areny	95
Pozornie końcowe produkty utleniania fotochemicznego — aldehydy i ketony	95
Metan — węglowodór najpowszechniej występujący w atmosferze	96
Ogólne zasady utleniania lotnych związków organicznych	99
4.3. Gazy wydechowe silników spalinowych	100
Czterosuwowe silniki benzynowe — źródło energii większości samochodów	100
Spalanie paliwa i benzyny o nowym składzie — dodatki zawierające tlen	103
Typowy przykład bilansu energetycznego, w przypadku gdy zboże jest stosowane jako źródło paliwa	105
Eter <i>tert</i> -butylowo-metylowy — syntetyczny czynnik natleniający	106
Konstrukcja silników i katalitycznych konwerterów ograniczających emisję szkodliwych spalin	106
Dwusuwowe silniki benzynowe — źródło energii mniejszych pojazdów i urządzeń	108
Silniki wysokoprężne — silniki do ciężkich prac	110
Biopaliwa do silników wysokoprężnych	112
Silniki pojazdów mechanicznych jako źródło ozonu	113
Literatura uzupełniająca	115
Zadania	115
5. CHEMIA TROPOSFERY — OPAD ATMOSFERYCZNY	117
5.1. Skład chemiczny deszczu	118
5.2. Powstawanie kwasu azotowego(V) w atmosferze	122
Chemia tlenku azotu(II) w czasie dnia	122
Chemia tlenku azotu(II) w czasie nocy	123
Usuwanie kwasu azotowego(V) z atmosfery	124
5.3. Powstawanie kwasu siarkowego(VI) w atmosferze	124
Utlenianie zredukowanych związków siarki	124
Reakcje homogenicznego utleniania ditlenku siarki	125
Reakcje heterogenicznego utleniania ditlenku siarki	127
Przyspieszanie utleniania ditlenku siarki na drodze katalitycznej	129
Inne losy związków siarki w atmosferze	130
Wulkany — erupcja wulkanu Mount Pinatubo w 1991 roku	130
5.4. Czynniki zakwaszające opad atmosferyczny	131
5.5. Chemia deszczu, śniegu i mgły — podobieństwa i różnice	133
Deszcz	133
Mgła	134
Śnieg	135
5.6. Obraz globalny — źródła i odbiorniki (zlewy)	137

5.7. Ograniczanie emisji azotu i siarki ze źródeł antropogenicznych	141
Spalanie w złożu fluidalnym	142
Modernizacja procesu odsiarczania gazów kominowych	143
Proces SONOX stosowany do jednoczesnego usuwania prekursorów siarki i azotu	144
Przemiana węgla w postaci gazowe i ciekłe	145
Literatura uzupełniająca	146
Zadania	146
6. ATMOSFERYCZNE AEROZOLE	148
6.1. Źródła aerozoli — dokładniejsza analiza	152
Rozpylanie z powierzchni morza	152
Pyły	153
Produkty spalania	154
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)	155
Aerozole kondensacyjne — siarczan(VI) amonu	156
Zamglenie arktyczne — zanieczyszczenie atmosfery w odosobnionych obszarach	158
Organiczne zarodki kondensacji	159
6.2. Stężenie aerozoli i czas ich życia	161
6.3. Ograniczanie zanieczyszczania powietrza cząstkami stałymi	165
Literatura uzupełniająca	167
Zadania	167
7. WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE ATMOSFERY OBSZARÓW MIEJSKICH I WEWNĄTRZ POMIESZCZEŃ	169
7.1. Zanieczyszczenia w atmosferze miejskiej	170
Cząstki stałe w atmosferze	172
Monotlenek węgla	172
Ditlenek siarki	172
Ditlenek azotu	173
Ozon	173
Ołów	173
Przykład: wskaźnik jakości powietrza w USA	174
7.2. Miasto Meksyk	175
7.3. Jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń	178
7.4. Zanieczyszczenia najczęściej spotykane wewnątrz pomieszczeń	181
Promieniotwórczość	181
Lotne związki organiczne	185
Ostatnio obserwowane problemy związane z powietrzem wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń — związki typu PBDE	187
Emisje produktów spalania wewnątrz budynków	189
Pyły występujące w pomieszczeniach zamkniętych	190
Literatura uzupełniająca	192
Zadania	192

8. CHEMIA KLIMATU GLOBALNEGO	194
8.1. Skład atmosfery Ziemi	195
8.2. Bilans energetyczny	197
Energia słoneczna	197
Energia słoneczna i Ziemia	198
8.3. Gazy cieplarniane i aerozole	203
Woda	203
Dinitlenek węgla	204
Metan	206
Ozon	208
Tlenek azotu(I)	208
Chlorofluorowęglowodory i inne gazy zawierające halogeny	209
Aerozole	210
8.4. Względne znaczenie zmian stężenia gazów cieplarnianych	211
8.5. Zasoby energii	215
8.6. Gazy cieplarniane związane ze stosowaniem paliw opartych na węglu	218
Węgiel	218
Ropa naftowa	222
Gaz ziemny	222
Biomasa	224
Przekształcanie energii słonecznej w biomasę	225
Paliwa syntetyczne z zasobów opartych na biomasie	229
Literatura uzupełniająca	229
Zadania	229

CZĘŚĆ B HYDROSFERA

9. HYDROSFERA	235
Oceany	235
Woda słodka	238
9.1. Fizyczne i chemiczne właściwości wody	240
Woda i jej osobliwe właściwości	240
Lód	241
Woda w stanie ciekłym — zmiany gęstości wraz z temperaturą	241
Ciekła woda jako rozpuszczalnik	243
Ciekła woda — kompleksowanie	244
Ciekła woda — właściwości kwasowo-zasadowe	245
Ciekła woda — właściwości redoks	246
Para wodna	247
9.2. Jednostki stężenia stosowane w przypadku roztworów wodnych	248
Literatura uzupełniająca	251
Zadania	251

10. ROZKŁAD INDYWIDUÓW CHEMICZNYCH W EKOSYSTEMACH WODNYCH	253
10.1. Wykresy jednej zmiennej	254
Fosforany(V)	254
Kompleksy kadmu z chlorkami	257
Środowisko ujść rzecznych — zatoka Chesapeake jako przykład	259
10.2. Wykresy dwóch zmiennych — diagramy pE/pH	261
Aktywność elektronów wyrażona jako pE	262
Metody obliczania wartości pE°	264
Chrom w ściekach garbarskich	265
Wykresy pE/pH	268
Granice trwałości wody	268
Układ siarki	270
Zastosowanie wykresów pE/pH	276
10.3. Pomiary pE	277
Literatura uzupełniająca	278
Zadania	278
11. GAZY WYSTĘPUJĄCE W WODZIE	281
11.1. Gazy proste	282
Prawo Henry'ego opisujące równowagę między gazami w powietrzu i w wodzie	282
Stężenie ditlenu w wodach naturalnych	282
Tlen cząsteczkowy w wodzie morskiej	284
Prawo Henry'ego stosowane w obliczeniach „odwrotnych”	285
11.2. Gazy reagujące z wodą	287
Ditlenek węgla w wodzie	287
Obliczanie rozpuszczalności ditlenku węgla i stężeń postaci węglanowych	288
Wpływ obecności skał węglanowych na rozpuszczalność ditlenku węgla	288
Jezioro Niyos — przykład klęski ekologicznej	291
11.3. Zasadowość	293
Pojemność buforowa wody w stosunku do kwasów	293
Zasadowość jako bufor w wodach naturalnych	294
Zasadowość i pH	295
Pomiary zasadowości i jej znaczenie dla środowiska	296
Jeziora w górach Adirondack i kwaśny opad atmosferyczny	299
Literatura uzupełniająca	300
Zadania	300
12. MATERIA ORGANICZNA W WODZIE	302
12.1. Pochodzenie materii organicznej w wodzie	304
12.2. Problemy środowiskowe związane z materią organiczną w wodzie	306
Toksyczność określonych związków organicznych	306
Reakcja z innymi połączeniami występującymi w wodzie	307
Zużycie tlenu	307

12.3. Materiał huminowy (humusowy)	308
Tworzenie się materiału huminowego — szlak degradacyjny	308
Tworzenie się materiału huminowego — szlak syntetyczny	309
Skład i struktura	310
Postaci materiałów huminowych	315
Materiał huminowy w wodzie jako akceptor protonów	316
Materiał huminowy jako czynnik kompleksujący jony metali	318
Reakcje między materiałem huminowym i małymi cząsteczkami organicznymi	318
Materiał huminowy związany z glebą lub osadem	321
Literatura uzupełniająca	322
Zadania	322
13. METALE I PÓLMETALE W HYDROSFERZE	325
13.1. Akwakompleksy metali	328
13.2. Klasyfikacja metali	331
Tradycyjne klasyfikacje metali	331
Środowiskowa klasyfikacja metali	334
Kompleksy z materiałem huminowym	337
Postaci metali w wodzie i biodostępność	341
13.3. Trzy metale — ich zachowanie się w hydrosferze	342
Wapń	342
Miedź	343
Rtęć	344
Rtęć w dorzeczu Amazonki	347
13.4. Kompleksy metali z ligandami pochodzenia antropogenicznego	349
Kwas nitrylotrioctowy w wodzie	350
13.5. Zawiesiny w hydrosferze — połączenia metali	353
Literatura uzupełniająca	354
Zadania	354
14. CHEMIA ŚRODOWISKOWA KOLOIDÓW I POWIERZCHNI	356
Powierzchnia właściwa	359
14.1. Właściwości powierzchni materiałów koloidalnych	360
Ładunek powierzchniowy	360
Podwójna warstwa elektryczna	363
Wymiana jonowa związana z adsorpcją elektrostatyczną	364
Zatrzymywanie substancji chemicznych na powierzchni koloidów w wyniku adsorpcji specyficznej	365
14.2. Ilościowy opis adsorpcji I	366
Równanie Langmuira	366
14.3. Chemia fosforu w środowisku naturalnym	369
Odnowa zeutrofizowanego zbiornika wodnego — zatoka Quinte	374
14.4. Ilościowy opis adsorpcji II	377
Równanie Freundlicha	377

14.5. Podział substancji organicznych o małych cząsteczkach między wodę i glebę lub osad	379
Stała podziału K_d	379
Sorpcja substancji organicznych na występujących w środowisku ciałach stałych	380
Stałe podziału	381
Stała podziału w układzie oktanol/woda, K_{ow}	381
Współczynniki biologicznego nagromadzenia	382
Inne stałe podziału stosowane do opisu rozmieszczenia substancji w środowisku	385
14.6. Materiał koloidalny w środowisku przyrodniczym	388
Koloidy powstające w specyficznych warunkach środowiska	388
Minerały ilaste	391
Literatura uzupełniająca	395
Zadania	395
15. PROCESY MIKROBIOLOGICZNE	397
15.1. Klasyfikacja mikroorganizmów	398
Klasyfikacja oparta na rodzajach drobnoustrojów	398
Klasyfikacja oparta na charakterystyce ekologicznej	401
Źródło węgla jako kryterium klasyfikacji	401
Źródło akceptora elektronów jako kryterium klasyfikacji	402
Klasyfikacja na podstawie preferencji temperaturowych	403
Klasyfikacja na podstawie morfologii	404
15.2. Procesy mikrobiologiczne — cykl biogeochemiczny węgla	404
Substancje zawierające węgiel w wodzie i na lądzie	405
Rozkład (degradacja) biomasy	408
Biologiczne zapotrzebowanie na tlen	417
Inne wskaźniki obecności materii organicznej w wodzie	418
Biotyczna kontrola ditlenku węgla w ziemskiej atmosferze	419
15.3. Procesy mikrobiologiczne — biogeochemiczny cykl azotu	421
Wiązanie azotu	422
Denitryfikacja	423
Spalanie	424
Amonifikacja	424
Nitryfikacja	424
Pobieranie (asymilacja)	425
Abiotyczna wymiana jonowa i adsorpcja	426
Wymywanie (ługowanie)	426
15.4. Procesy mikrobiologiczne — biogeochemiczny cykl siarki	428
Uwalnianie siarki podczas rozkładu materii organicznej	429
Utlennianie siarczków	430
Redukcja siarczanów(VI)	430
Literatura uzupełniająca	431
Zadania	431
16. ZANIECZYSZCZENIA WODY I CHEMIA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW	433
Czym jest zanieczyszczenie	433

16.1. Wytyczne dotyczące jakości wody	437
Woda pitna	437
Toksyczność	437
Woda do nawadniania	440
16.2. Ścieki wodne i ich oczyszczanie	442
Procesy pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia oczyszczania ścieków	443
Koagulanty chemiczne do usuwania zmutnienia	445
Koagulanty chemiczne do usuwania fosforanów(V)	448
Usuwanie azotu ze ścieków wodnych	450
16.3. Zaawansowane procesy mikrobiologiczne	451
Mikrobiologiczne usuwanie fosforu	452
Mikrobiologiczne usuwanie azotu	452
16.4. Produkty końcowe pozostające po oczyszczeniu ścieków	454
Literatura uzupełniająca	455
Zadania	455

CZĘŚĆ C ŚRODOWISKO LĄDOWE

17. ŚRODOWISKO LĄDOWE	459
17.1. Powstawanie gleby	461
Mineralna materia gleby	461
Wietrzenie fizyczne	462
Wietrzenie chemiczne	463
Organiczna materia gleby	467
Zatrzymywanie ditlenku węgla przez lasy	471
Powstawanie gleby jako złożony proces	471
Literatura uzupełniająca	473
Zadania	473
18. WŁAŚCIWOŚCI GLEBY	475
18.1. Właściwości fizyczne	476
Rozmiar cząstek	476
Uziarnienie	477
Struktura	479
Przepuszczalność (prześląkliwość)	479
18.2. Właściwości chemiczne	480
Pierwiastki	480
Pierwiastki dostępne	483
Zdolność wymienna gleby w stosunku do kationów	483
Gleby o zmiennym ładunku	486
pH gleby	487
18.3. Profile glebowe	488
Kanadyjska Tarcza Spodosolowa	489
Tropikalny alfisol	491
Podzwrotnikowy wertisol	493

18.4. Problemy środowiskowe związane z glebą	495
Utrata substancji pokarmowych w wyniku wymywania	496
Zanieczyszczenie azotanami(V) pochodzącymi z rolnictwa w Wielkiej Brytanii	497
Straty substancji pokarmowych w wyniku erozji gleby	498
Reakcje z kwasami i zasadami	499
Geochemiczne reakcje zmniejszające kwasowość gleby	500
Biologiczne procesy zmniejszające kwasowość gleby	502
Kwaśne gleby siarczanowe	503
Gleby zmienione przez sole	504
Pierwiastki śladowe w glebach	507
Literatura uzupełniająca	511
Zadania	511
19. CHEMIA ODPADÓW STAŁYCH	514
Usuwanie masowych odpadów stałych	515
19.1. Odpady stałe z górnictwa i hutnictwa	516
Hałdy skał płonnych mało szkodliwych	517
Odpady skały płonnej z rud siarczkowych	519
Muł (szlam) czerwony	521
19.2. Odpady organiczne	522
Bezpośrednie usuwanie odpadów zwierzęcych do ziemi	522
Kompostowanie	524
Osad ściekowy	527
Synteza małych ilości biogazu	531
19.3. Mieszane odpady miejskie	533
Składowanie odpadów na wysypiskach	534
Spalanie	537
Literatura uzupełniająca	543
Zadania	544
20. BIOCYDY ORGANICZNE	546
20.1. Czym są biocydy	546
20.2. Trwałość chemiczna	550
Reakcje fotolityczne	551
Reakcje nefotolityczne	554
Hydroliza	555
Utlenianie	558
Redukcja	560
Szybkości reakcji rozkładu	563
Obliczenia kinetyczne	568
20.3. Ruchliwość (mobilność) biocydów	568
Transport wodny	568
Jakie czynniki określają zdolność związku do transportu?	571
Parowanie	572

20.4. Podatność na wymywanie (ługowanie)	574
Literatura uzupełniająca	577
Zadania	577
21. ZIEMIA W PRZYSZŁOŚCI	579
Człowiek na Ziemi	580
Atmosfera	581
Woda	581
Stała Ziemia	582
Rozwiązywanie złożonych problemów środowiska	583
Załączniki	587
Literatura uzupełniająca do polskiego wydania	601
Skorowidz	603

W ostatniej dekadzie chemia środowiska stała się jednym z poważnych działów chemii — przedmiotem, który zajmuje ważne miejsce zarówno w nauczaniu, jako w badaniach naukowych wielu instytucji akademickich¹. Bieżąco chemia środowiska stanowiła podstawowy katalóg względnie opis właściwości chemicznych otaczającego świata oraz sił i czynników występujących w sferze zanieczyszczeń. Jako przedmiot stopniowo dojrzewała i obejmowała badania układów o wysokim stopniu złożoności i zmienności. Badania obecnie prowadzone skupione są na procesach zachodzących w obrębie i pomiędzy różnymi składowymi środowiska oraz wpływem człowieka na naturalne przebiegające w nim procesy. Prowadzone w zakresie chemii środowiskowej badania oparte są na dotychczasowej wiedzy wszystkich dyscyplin nauki, co pozwala na tym fundamencie budować nową gałąź nauki. Ponadto specjalistyczne badania prowadzone w ramach chemii środowiska stanowią próbę integracji określonych poglądów, mającą na celu uzyskanie pełnego obrazu działania naturalnego środowiska i jego odpowiadz na działanie czynników zewnętrznych. W tej książce podjęliśmy próbę prześledzenia podstawowych koncepcji chemii środowiska oraz wyjaśnienia kluczowych kwestii w ujęciu globalnym.

Przygotowując *Chemię środowiska w perspektywie globalnej*, staraliśmy się zawrzeć w niej wiele z omówień wymienionych idei.

- W książce rozpatrzone chemiczne podstawy działania naturalnego i zanieczyszczonego środowiska.
- Treść książki opiera się na podstawach chemii fizycznej, organicznej i nieorganicznej.
- Książka ta przedstawia w opisowy sposób większość podejmowanych tematów w ramach chemii środowiska; jednocześnie wprowadziliśmy podstawy obliczeń ilościowych.
- Poruszane zagadnienia rozpatrywano w ujęciu globalnym. W podanych przykładach dotyczących wszystkich kontynentów położono nacisk na wzajemne powiązania wszystkich przedstawianych problemów.

¹ W. H. Glaze, "Environmental Chemistry Comes of Age", *Environ. Sci. Technol.*, 28(4), 169A (1994).

