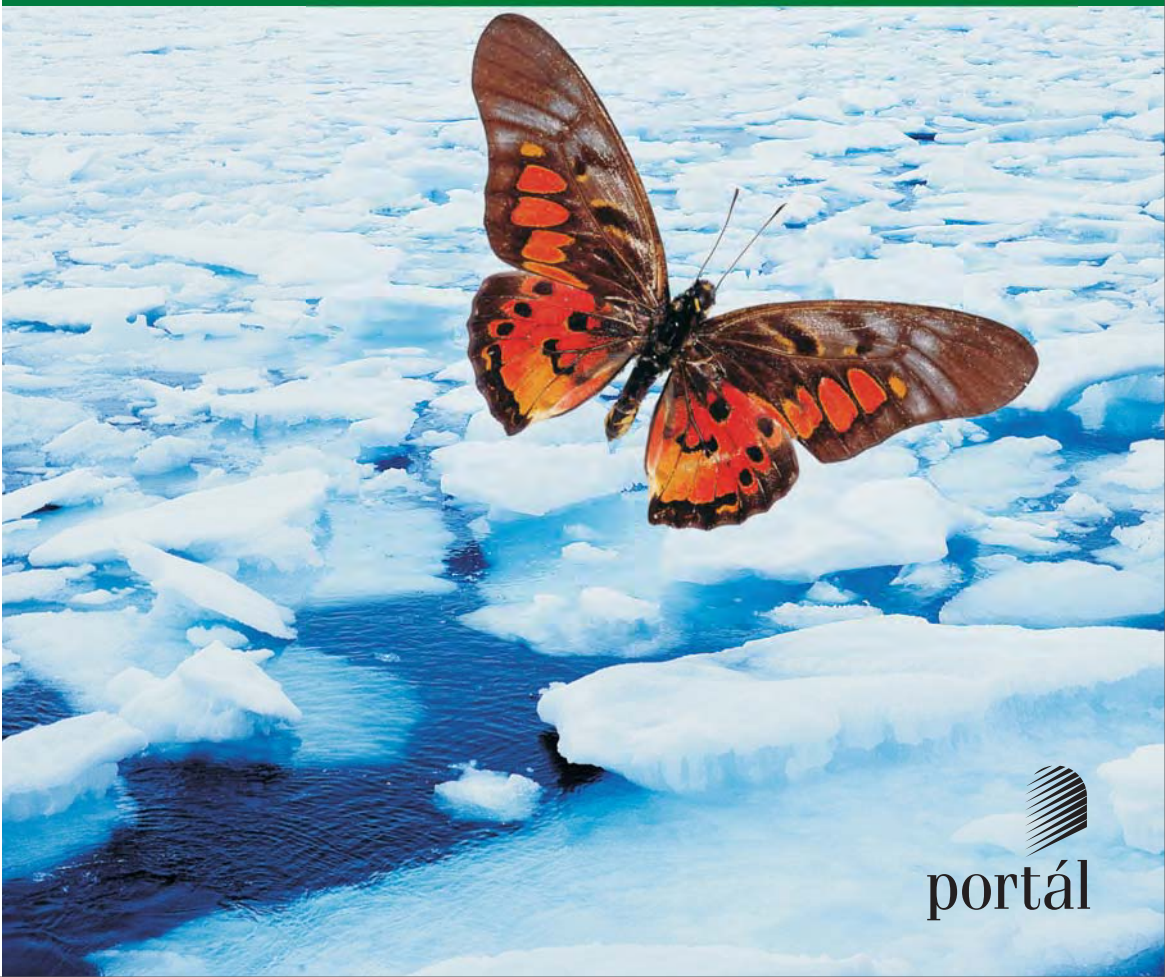
Úvod do biologie ochrany přírody

Richard B. Primack
Pavel Kindlmann
Jana Jersáková



portál

Úvod do biologie ochrany přírody

Richard B. Primack
Pavel Kindlmann
Jana Jersáková

portál

KATALOGIZACE V KNIZE – NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Primack, Richard B.
Úvod do biologie ochrany přírody / Richard B. Primack, Pavel Kindlmann, Jana Jersáková. – Vyd. 1. – Praha : Portál, 2011. – 472 s.
ISBN 978-80-7367-595-0 (váz.)

57:502 * 574.1
- konzervační biologie
- biodiverzita
- učebnice

574 – Obecná ekologie [2]
37.016 – Učební osnovy. Vyučovací předměty. Učebnice [22]

Lektorovali Vojtěch Jarošík, František Urban, Tomáš Kučera, Svatomír Mlčoch

© Richard B. Primack, Pavel Kindlmann, Jana Jersáková, 2011
Portál, s. r. o., Praha 2011

ISBN 978-80-7367-595-0

Obsah

Předmluva 13

1 Definice biologie ochrany přírody 15
Podstata a původ biologie ochrany přírody 17
Filozofické základy biologie ochrany přírody 19
Význam biologie ochrany přírody 22
Mezioborový přístup – případová studie 25
Etické principy biologie ochrany přírody 29
Úspěchy a výzvy 30
Shrnutí 31

2 Biodiverzita 35
Druhová diverzita 36
Charakteristika druhu 36
Měření druhové diverzity 41
Genetická diverzita 44
Ekosystémová diverzita 46
Potravní úrovně 50
Potravní řetězce a potravní sítě 52
Klíčové druhy a gildy 52
Klíčové zdroje 54
Dynamika ekosystémů 55
Biodiverzita ve světovém měřítku 55
Kolik existuje na světě druhů? 57
Kde se nachází světová biodiverzita? 60
Shrnutí 66

3 Hodnota biodiverzity 71
Ekologická ekonomie 74
Přímé ekonomické hodnoty 79

Spotřební užitná hodnota ... 79
Výrobní užitná hodnota ... 82
Nepřímé ekonomické hodnoty ... 84
Produktivita ekosystému ... 87
Ochrana vodních a půdních zdrojů ... 88
Regulace klimatu ... 90
Vztahy mezi druhy a monitorování životního prostředí ... 92
Rekreace a vzdělávání ... 93
Vícenásobná užitná hodnota jednoho zdroje – případová studie ... 97
Dlouhodobá perspektiva – opční hodnota ... 98
Existenční hodnota ... 101
Environmentální etika ... 103
Etické argumenty podporující ochranu přírody ... 104
Hlubinná ekologie ... 108
Shrnutí ... 108

4 Ohrožení biodiverzity ... 113
Růst lidské populace a jeho vliv ... 114
Destrukce stanovišť ... 117
Tropické lesy ... 120
Savany mírného pásma ... 125
Mokřady a rašeliniště ... 125
Mořské pobřežní vody ... 128
Dezertifikace ... 129
Fragmentace stanovišť ... 130
Možné negativní následky fragmentace ... 132
Okrajové efekty ... 134
Degradace a znečištění životního prostředí ... 137
Pesticidy ... 139
Znečištění vody ... 140
Znečištění ovzduší ... 142
Globální změna klimatu ... 144
Klimatické změny a mořské prostředí ... 149
Obecné účinky globálního oteplení ... 150
Nadměrné využívání zdrojů ... 151
Využívání přírodních zdrojů v tradičních společnostech ... 151
Mezinárodní trh s rostlinami a živočichy ... 153
Komerční lov a sklizeň ... 155
Invazní druhy ... 157
Invazní druhy na ostrovech ... 164
Invazní druhy ve vodním prostředí ... 164
Schopnost druhu stát se invazním ... 166

Geneticky modifikované organismy 169
Nemoci 170
Shrnutí 174

5 Vyhynutí je jednou provždy 179
Význam slova „vyhynulý“ 181
Rychlosti vymírání 182
Rychlosti vymírání ve vodním prostředí 187
Rychlosti vymírání na ostrovech 189
Ostrovní biogeografie a předpověď rychlosti vymírání 190
Lokální vymírání 194
Náchylnost k vyhynutí 195
Problémy malých populací 199
Ztráty genetické variability 202
Efektivní velikost populace 208
Demografická a environmentální stochasticita 211
Extinkční víry 214
Shrnutí 215

6 Ochrana populací a druhů 219
Aplikovaná populační biologie 219
Základní výzkum 221
Monitorování populací v terénu 222
Demografické studie 227
Analýza životaschopnosti populace 229
Metapopulační modely 231
Kategorie ohroženosti druhů 235
Záchranné programy 241
Zakládání nových populací 242
Pravidla pro úspěšné záchranné programy 244
Vytváření nových populací rostlin 252
Status nových populací 254
Strategie ochrany přírody ex situ 254
Zoologické zahrady 257
Akvária 263
Botanické zahrady a arboreta 264
Semenné banky 268
Právní ochrana druhů 271
Státní legislativa 272
Mezinárodní dohody 276
Shrnutí 281

7 Chráněná území 285
Vytváření a klasifikace chráněných území 286
Účinnost chráněných území 290
Stanovení priorit: co má být chráněno? 291
Měření účinnosti: analýza mezer 301
Navrhování chráněných území 304
Problém velikosti 307
Minimalizace okrajových efektů a fragmentace 310
Sítě chráněných území 311
Krajinná ekologie 314
Management chráněných území 317
Monitoring 321
Udržování stanovišť 326
Management a místní obyvatelé 328
Zonace jako řešení střetu zájmů 330
Výzvy pro management chráněných území 334
Právní aspekty územní ochrany 335
Evropské sítě chráněných území 339
Mezinárodní dohody 345
Shrnutí 349

8 Ochrana vně chráněných území 353
Nechráněná veřejná a soukromá území 353
Tradiční kulturní krajina 356
Spolupráce s místními obyvateli 359
Zemědělská ochrana přírody in situ 362
Rezervace vyhrazené pro dlouhodobě udržitelné využívání domorodci 363
Iniciativy místních komunit 363
Platby za ekosystémové služby 367
Úspěšnost ochranářských iniciativ 367
Ekosystémový management 368
Obnova poškozených ekosystémů 371
Potřeba obnovy ekosystémových funkcí 371
Přístupy k obnově společenstev a ekosystémů 377
Hlavní kandidáti na ekologickou obnovu 378
Budoucnost ekologie obnovy 385
Shrnutí 386

9 Trvale udržitelný rozvoj 389
Trvale udržitelný rozvoj na místní a národní úrovni 391
Státní správa na místní úrovni 392

Státní správa na národní úrovni 393
Pozemkové spolky 394
Pobídky k ochraně přírody 398
Mezinárodní přístupy k trvale udržitelnému rozvoji 399
Summit Země 400
Financování ochrany životního prostředí 402
Finanční prostředky pro životní prostředí 403
Výměna dluhů za ochranu přírody 406
Půjčky a granty 407
Soukromé zdroje financí 409
Dilema financování ochrany přírody 410
Výzvy pro financování 412
Výchova k ochraně přírody 413
Role biologů zabývajících se ochranou přírody 415
Shrnutí 418

Resumé 421
Literatura 423
Rejstřík 453

Biologie ochrany přírody se snaží o zachování toho nejcennějšího, co na planetě Zemi existuje – její biologické diverzity. Tato kniha je proto věnována všem, kdo vyučují tento obor a snaží se ukázat ostatním cestu, jak najít správnou rovnováhu mezi ochranou biologické diverzity a lidskými potřebami. Pokud se nám podaří vzbudit ve čtenáři pocit, že ztrátou biodiverzity ztrácíme cosi skutečně cenného, a aktivní zájem o to, jak může on sám pomoci této ztrátě zabránit, pak naše kniha splnila svůj účel.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali nakladatelství Sinauer Associates za nezištné povolení vytisknout tuto knihu v češtině. Obzvláště chceme poděkovat Marii Scavotto a Chrisu Smallovi za všeobecnou podporu. Části anglické verze tohoto textu recenzovali Sevima Aktay, Phil Cafaro, Daniel Janzen, Tigga Kingston, Charles Munn, Bruce Rich, Lisa Sorenson, Katrina Brandon, Mark Burgman, Phil Cafaro, Joel Heinen, Jeff McNeely, Anna Sher, Navjot Sodhi, Don Waller, Paige Warren a Kimberly With. James Carlton, Richard Frankham, Barry Hammel, Dan Janzen, Kathy MacKinnon, Peter Moyle, Elliott Norse, Michael Reed, Sebastian Treong, Tony Whitten a mnozí další poskytli specifické informace ze svých oborů. Elizabeth Platt, Libby Bacon, Les Kaufman, April Algaier Stern a Linus Chen značnou měrou přispěli ke tvorbě původní anglické verze. Autorská práva na úvodní fotografie jednotlivých kapitol patří: Projeto TAMAR Image Bank, Radku Lučanovi, Russi Bishopovi – AGE Fotostock, Johnu Frechetovi – Iconotec/Alamy, Davidu Keithu Jonesovi – Images of Africa Photobank/Alamy, Charlesi H. Smithovi – U. S. Fish & Wildlife Service, Billu Bachmanovi – Alamy, Tomaszi Resiakovi – Stockphoto, Williamu Campbellovi – Peter Arnold, Inc., Alamy, a Otmaru Smitovi – Shutterstock. První jmenovaný autor dále vděčí za stálou podporu Kamalji Bawovi a Margaret Primack.

Práce na české verzi byla podpořena projekty č. LC06073 MŠMT ČR a č. CZ.1.05/1.1.00/02.0073 (CzechGlobe). Za pomoc při její přípravě bychom chtěli poděkovat především všem třem recenzentům – RNDr. Tomáši Kučerovi, Ph.D., ing. Františku Urbanovi a prof. RNDr. Vojtěchu Jarošíkovi, CSc. – za jejich rady a připomínky k rukopisu a JUDr. Svatomíru Mlčochovi za pozorné pročtení kapitol o legislativě. Jsme velice zavázáni autorům tematicky specializovaných boxů a nezištně poskytnutých fotografií. Boxy, u nichž není uvedeno jméno autora, byly napsány autory knihy. Náš dík patří také Kristýně Atexingerové za přepis textu a paní Miluši Pouzarové za lingvistické připomínky k části první verze a Karolíně Černé, Martinovi Bílému a Janu Šipošovi za připomínky ke korekturám. Náš obzvláštní dík patří Tomáši Hájkovi a Daně Kindlmannové za toleranci a podporu během naší práce.

Praha, leden 2011
Autoři

Předmluva

Není sporu o tom, že ochrana přírody se v celém světě těší stále větší oblibě. Rostoucí počet publikací se však stává poněkud nepřehledným, a protože většina z nich se zabývá dílčími problémy ochrany přírody, je pociťován nedostatek knih, které by tuto problematiku osvětlovaly z širšího pohledu a mohly sloužit i jako učebnice pro studenty všech typů škol.

Českému čtenáři se nyní dostává do rukou základní učebnice biologie ochrany přírody, jež vhodně zaplňuje volný prostor v této oblasti. Její původní verze byla napsána ve Spojených státech amerických a může se zdát, že je trochu poplatná místu svého vzniku. Autoři překladu se snažili i nám přiblížit text četnými příklady a doplnit aktualizacemi z domácího prostředí. Tento záměr se jim skvěle vydařil, neboť příručka poskytuje mnoho užitečných informací ze středoevropského prostoru a z České republiky zvláště. Lze dokonce říci, že v současné době neexistuje obecně přístupná publikace, která by řadu důležitých informací o naší ochraně přírody prezentovala tak přehledným způsobem.

Věřím, že kniha bude přijata příznivě nejen studenty, ale rovněž zájemci o ochranu přírody ze všech skupin obyvatelstva. Přeji těm, jimž se dostane do rukou, aby v ní nalezli poučení a aby je inspirovala k praktickým činnostem, které naše dost těžce zkoušená příroda naléhavě potřebuje, protože bez zdravé přírody nepřežijeme; žádná technika ji nenahradí a jakýkoli blahobyt bez ní přestává být blahobytem.

Ing. František Urban



Výzkumníci sbírají data o mořských želvách u brazilského pobřeží.

Podstata a původ biologie ochrany přírody

- Filozofické základy biologie ochrany přírody
- Význam biologie ochrany přírody
- Mezioborový přístup – případová studie

Etické principy biologie ochrany přírody

Úspěchy a výzvy

Kapitola 1

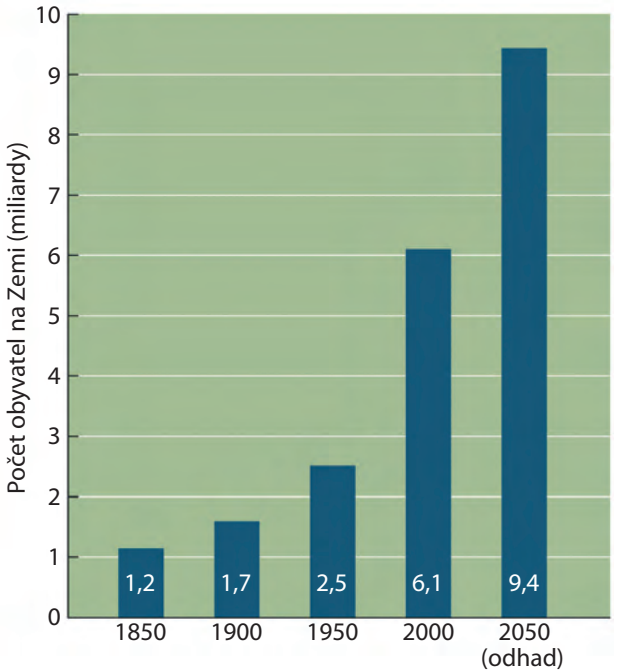
Definice biologie ochrany přírody

Žijeme v epoše, v níž dochází k dosud nevídaným ztrátám biologické diverzity. Po celém světě dochází následkem lidské činnosti k devastaci biologických společenstev, která se vyvíjela miliony let. To se týká především tropických deštných lesů, korálových útesů, pralesů, prérií, pobřežních mokřadů a mnohých dalších společenstev. Biologové předvídají, že v nejbližších desetiletích vymizí desítky tisíc druhů a miliony jedinečných populací (Millenium Ecosystem Assessment, 2005; Brown a Laband, 2006). Za jeden z hlavních důvodů těchto obrovských ztrát druhů a populací je považována rychle rostoucí lidská populace.

Je dobře známo, že během posledních 150 let došlo k populační explozi, při níž se lidská populace zmnohonásobila. Trvalo více než deset tisíc let, než počet jedinců druhu *Homo sapiens* dosáhl jedné miliardy – to se stalo někdy kolem roku 1850. V roce 2008 dosáhla lidská populace 6,6 miliardy. Při tomto počtu lidí přibývají na Zemi každým dnem statisíce obyvatel (obr. 1.1). Ohrožení biologické diverzity (*biodiverzity*) se zvětšuje, protože se zrychluje růst lidské populace a její materiální spotřeba. Lidé spotřebovávají v obrovské míře přírodní zdroje (např. palivové dříví, uhlí, ropu, stavební dříví, ryby a zvěř) a přeměňují přírodní stanoviště na krajinu, v níž převládají zemědělské, těžební, stavební a jiné lidské aktivity.

Situaci navíc zhoršuje rapidní rozvoj a industrializace jednotlivých zemí, následkem čehož v nich vzrůstá spotřeba zdrojů na jednoho obyvatele. Tak například průměrný obyvatel USA – jedné z nejrozvinutějších zemí – spotřebuje 17krát víc energie a 79krát víc papírových produktů než průměrný obyvatel rozvojové Indie (WRI, 2000, 2005). Stále se zvyšující velikost lidské populace a intenzifikace využívání přírodních zdrojů mají přímé a škodlivé účinky na biologickou diverzitu.

Hromadné vymírání, které nyní probíhá, je jiné než hromadná vymírání v minulosti, při nichž vymřely desítky tisíc druhů následkem nějaké přírodní katastrofy, např. kolize s asteroidy, obrovské vulkanické erupce a zemětřesení, náhlé dramatické změny teplot (viz kap. 5). Vymírání druhů jsou dnes téměř výhradně způsobena člověkem. Nikdy v minulosti nebyla taková devastace přírody zapříčiněna



Obr. 1.1 V roce 2008 žilo na Zemi okolo 6,6 miliardy obyvatel. World Resources Institute (Ústav pro světové zdroje) odhaduje, že roční přírůstek činí cca 1,1 %, ale i tak malá hodnota znamená čistý přírůstek 72 milionů lidí na této planetě jen v roce 2009. Tento přírůstek se bude nadále zvětšovat, stejně jako se zvětšuje roční úrok při složeném úrokování. (Zdroj: U. S. Census Bureau, www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopinfo.html)

živými organismy, natožpak bytostmi, které o sobě tvrdí, že jejich hlavními charakteristikami jsou účelné chování, morálka a svobodná vůle.

Pokud se něco nepodnikne, aby se změnil tento trend člověkem způsobeného vymírání živočišných a rostlinných druhů, pak mnohé druhy, které jsou skvostnými příklady přírodního světa kolem nás – zvířata jako panda, velryby a řada druhů zpěvných ptáků, navždy vymizí ze zbytků svých stanovišť. Několik tisíc a možná milionů méně nápadných druhů bakterií, hub a bezobratlých živočichů je bude ve vymírání následovat, pokud jejich stanoviště nebudou chráněna. Ztráta těchto zdánlivě nenápadných druhů může být devastující pro celou planetu a lidské pokolení, protože tyto druhy mají důležitou úlohu v recyklaci živin a udržování zdravé rovnováhy mezi druhy.

Negativní faktory působí na biologickou diverzitu často synergicky, což znamená, že vlivy různých faktorů, např. kácení, nadměrného lovu, sucha, ohně,

změny klimatu a chudoby, se navzájem kombinují a společným působením ještě více ničí biologickou diverzitu (WRI, 2005). Ohrožení biologické diverzity téměř jistě také ohrozí lidskou populaci, protože přežití lidstva závisí na životním prostředí, na surovinách, jídle, lécích, které příroda poskytuje, a dokonce i na čistém vzduchu a vodě.

I když řada z nás cítí skepsi při vizi blížící se laviny vymírání druhů a rozsáhlé destrukce přirozených stanovišť, k nimž dochází v současném světě, je možné a nutné hledat cesty, jak tuto destrukci zastavit (Orr, 2007). Cokoli, co se podnikne nebo nepodnikne během nejbližších desetiletí, bude rozhodující pro to, kolik živočišných a rostlinných druhů, ekologických společenstev a přírodních oblastí přežije. Věřme, že v budoucnosti budou lidé vidět počátek 21. století jako období, kdy několik odhodlaných jedinců zachránilo některé druhy i celá biologická společenstva. Příklady těchto snah o záchranu jsou popsány dále v této kapitole a průběžně v celé knize.

Podstata a původ biologie ochrany přírody

Biologie ochrany přírody – ochranářská biologie, konzervační biologie (*conservation biology*)*– je vědní disciplína vycházející z mnoha vědních oborů, jejímž cílem je poskytnout teoretické základy a praktické rady pro ochranu druhů a ekosystémů (Robinson, 2006). Konkrétně to znamená:

- zdokumentovat celý rozsah biologické diverzity na Zemi;
- zkoumat vliv člověka na druhy, společenstva a ekosystémy;
- vytvořit postupy pro ochranu ohrožených druhů, které mají zabránit jejich vyhynutí;
- přispět k zachování genetické diverzity druhů;
- přispět k ochraně a regeneraci biologických společenstev;
- přispět k ochraně ekosystémových funkcí biologických společenstev.

První dva z těchto cílů zahrnují nezaujaté hledání faktů, což je typické pro vědecký výzkum. Další cíle definují biologii ochrany přírody jako **normativní obor** (*normative discipline*), který se pokouší aplikací vědeckých metod dosáhnout jistých cílů či

* Pozn. redakce: česká odborná terminologie je v závorce doplněna o anglickou podobu.

etických principů. Je to podobné jako u medicíny, která využívá znalosti získané z fyziologie, anatomie, biochemie a genetiky k léčbě lidí a boji proti nemocem. Odborníci zabývající se biologií ochrany přírody se snaží zabránit ztrátě biologické diverzity způsobené člověkem, protože věří, že záchrana druhů a přírodních společenstev je dobrá věc.

Biologie ochrany přírody je moderní věda, která vznikla kolem roku 1980, protože žádný z tradičních aplikovaných vědních oborů, např. teorie optimálního využívání zdrojů, lesnictví, zemědělství, rybářství, myslivost, nebyl dostatečně obecný, aby mohl sám o sobě řešit problémy spojené s prevencí rychle se rozšiřujícího ohrožení biologické diverzity. Biologie ochrany přírody spojuje výše uvedené obory a některé obory akademické, jako je populační biologie, taxonomie, ekologie, evoluční biologie, genetika apod. Díky tomu může nabídnout obecnější teoretický přístup k ochraně celé šíře biologické diverzity. Jejím krédem je dlouhodobá ochrana všech biologických společenstev, jež je v souladu s trvale udržitelným rozvojem lidské populace. Mnozí vědci zabývající se biologií ochrany přírody pocházejí původně z některé výše uvedené oblasti vědy. Značná část vůdčích osobností v biologii ochrany přírody také kdysi pracovala nebo pracuje v zoologických zahradách, akváriích, botanických zahradách apod., díky čemuž mají rozsáhlé zkušenosti s chovem a pěstováním druhů v zajetí.

Biologie ochrany přírody je úzce spojena s **environmentalismem** (*environmentalism*), široce rozšířeným hnutím vyvíjejícím politické a výchovné aktivity na ochranu životního prostředí před ničením a znečištěním. Biologie ochrany přírody je však vědní obor, jehož poznatky často přispívají k cílům environmentalistických hnutí, ale liší se od nich tím, že je založen na biologickém výzkumu.

Biologie ochrany přírody je úzce propojena i s dalšími dosud nejmenovanými vědními obory, s nimiž sdílí některé myšlenky, používá jejich výsledky nebo naopak tyto obory používají závěry plynoucí z teorie biologie ochrany přírody. Například environmentální právo a politika jsou základem zákonů zabývajících se ochranou ohrožených druhů a kriticky ohrožených stanovišť, přičemž tato ochrana vyplývá ze závěrů biologie ochrany přírody. Environmentální etika zdůvodňuje význam zachování biodiverzity, což podporuje smysluplnost ochrany biodiverzity a smysluplnost biologie ochrany přírody jako důležité vědní disciplíny. Ekologičtí ekonomové analyzují a definují ekonomické hodnoty

Biologie ochrany přírody spojuje aplikovanou a teoretickou biologii a využívá i myšlenky a znalosti z velkého množství oblastí mimo přírodní vědy za účelem zachování biodiverzity.

různých aspektů biodiverzity a tím poskytují biologii ochrany přírody argumenty a nástroje pro ochranu biodiverzity. Ekologové se zabývají ochranou životního prostředí a klimatologové monitorují biologické i fyzikální charakteristiky životního prostředí a vytvářejí modely, které předpovídají odpověď životního prostředí na jeho narušení, mj. i možné následky změny klimatu. Sociální vědy, včetně antropologie, sociologie a geografie, nabízejí metody, pomocí nichž můžeme porozumět lidskému konání a zahrnout pravidla ovlivňující lidské chování do ochrany životního prostředí. Výchova k ochraně životního prostředí je kombinací akademického studia a terénní práce, jejichž prostřednictvím pomáhá řešit environmentální problémy, protože s nimi seznamuje lidi a pomáhá jim uvědomit si hodnotu životního prostředí. Právě proto, že biologie ochrany přírody čerpá z myšlenek a znalostí mnoha různých vědeckých odvětví, jde skutečně o multidisciplinární vědu (obr. 1.2).

Filozofické základy biologie ochrany přírody

Biologie ochrany přírody má své prapůvodní základy v náboženských a filozofických úvahách, které popisují vztah mezi lidskou společností a přírodním světem (Berkes, 2001; McNeely, 2001). Mnohá náboženství vidí člověka jako bytost fyzicky a duševně spojenou s rostlinami a živočichy a jejich okolním prostředím. Různé východní filozofie, jako je taoismus, šintoismus, hinduismus a buddhismus, si vysoce cení živé, neporušené přírody pro její schopnost poskytnout intenzivní duševní zážitky. Tyto filozofie spatřují přímou souvislost mezi světem přírodním a duchovním; spojení, jež se zničí, když se přírodní svět změní nebo je zničen následkem lidských aktivit. V islámském učení jsou lidé vedeni k odpovědnosti za ochranu přírody. V poslední době začali někteří křesťanští a židovští vůdci podporovat ideu ochrany toho, co Bůh stvořil, jako součást morálních povinností člověka.

Na konci 18. století se v Anglii zrodil nový umělecký a filozofický směr a životní postoj – romantismus –, jako reakce na hluboký rozpor mezi realitou kapitalistického řádu a humanitními ideály. Odtud se pak šířila po celé Evropě a do Ameriky snaha chránit „romantická“, esteticky zajímavá území. Romantičtí malíři své náměty nacházeli v nespoutané přírodě, na opuštěných místech se starými zříceninami či v zajímavých přírodních úkazech. Vlna romantismu tak ve společenských kuloárech otevřela otázku estetiky lesa, volné krajiny, a přírody vůbec. V reakci na rychlé mizení dosud nedotčených pralesů i v méně přístupných horských

oblastech, umocněné sílící vlnou romantismu, byly vyhlášeny první lesní rezervace a přírodní parky na evropském kontinentu vůbec (viz box 1.1).

Podobně filozofové Ralph Waldo Emerson, Henry David Thoreau aj., žijící v 19. století ve Spojených státech, viděli přírodu jako důležitý element v morálním a duchovním vývoji lidstva (Merchant, 2002). Tento náhled sdíleli v průběhu



Obr. 1.2 Biologie ochrany přírody reprezentuje syntézu mnoha základních vědních oborů (vlevo), které poskytují principy a přístupy k aplikovaným oblastem využívání přírodních zdrojů (vpravo). Zkušenosti získané v této oblasti zpětně ovlivňují směry výzkumu v základních vědách. (Zdroj: Temple, 1991)