

Monitorování změn vegetace s využitím družicových snímků

Monitoring of vegetation/land cover change with the remote sensing data

Tomáš Kučera

*Botanický ústav AV ČR, Dukelská 135, 379 01 Třeboň, e-mail:
kucera@butbn.cas.cz*

Úvod

V posledních letech se ekologický výzkum intenzivně zabývá procesy, které souvisejí se změnami prostředí vyvolanými lidskými aktivitami. Souhrnně je toto sledování časových změn označováno jako monitorování (viz Goldsmith 1991, Spellerberg 1991, Prach 1994). Změny jsou sledovány na různých časoprostorových škálách a objektech různé organizační úrovně (Allen & Hoekstra 1992). Rostlinstvo tyto procesy velmi dobře odráží a fytoindikace patří k rychlým a relativně levným metodám zachycujícím změny v ekosystémech (Schubert 1985, Kovács 1992).

Na možnosti monitorování změn pomocí dálkového průzkumu Země (DPZ) poukázali např. Budd (1991) a Spellerberg (1991). Řada aplikací z poslední doby ukazuje na značný potenciál multispektrálních družicových snímků s možností multitemporálního hodnocení (klasickou prací využívající satelitní snímky Landsat TM a SPOT pro klasifikaci vegetace ve Švédsku je Boresjö 1989). Využití těchto dat je v oblastech sledování distribuce společenstev, hodnocení jejich vitality a zdravotního stavu a sukcesních pochodů. Změny pokryvu vlivem hospodaření hodnotí Green et al. (1993), problematiku v mokřadech shrnuje např. sborník Aubrecht, Dick & Prentice (1994). K výrazným změnám dochází také ve volné krajině (Forman 1995). Satelitní data poskytují velmi dobré podklady pro hodnocení těchto změn (Farina 1998).

Tento příspěvek přímo navazuje na metodický přehled monitorování změn krajinného pokryvu s využitím dat dálkového průzkumu Země (DPZ) v prostředí geoinformačních systémů (GIS), který byl zaměřen především na využití leteckých snímků (Guth & Kučera 1997) a na přehled dostupných digitálních dat pro potřeby ochrany přírody (Pauknerová & Kučera 1997). Cílem tohoto příspěvku je podat přehled možných datových zdrojů pro potřeby monitorování změn vegetace rozsáhlejších území.

Měřítko (škála) sledování

V posledních letech se v ekologických studiích klade značný důraz na vyjádření časového (prostorového) měřítka, v nichž byla prezentovaná data sbírána a interpretována (Bissonette 1997). Metody sběru dat a jejich interpretace totiž odpovídají různým organizačním úrovním, a tak i přesto, že výsledky získané na různých hladinách jsou navzájem srovnatelné (viz Allen & Hoekstra 1992), měli bychom si být vědomi omezené zobecnitelnosti našich interpretací. Vysvětlování vyšších úrovní na základě nižších (podle klasické hierarchizace bioty buňka–organismus–populace–společenstvo–ekosystém–krajina–biom) je pro závislost metod na organizační úrovni dat a na měřítku sledování zavádějící (King 1997).

Závislost metodických přístupů používaných pro popis struktur (a tím i sledování změn) společenstev a vegetace (vegetačního pokryvu) na časové a prostorové škále vyjadřuje obr. 1. Metody DPZ zachycují změny vegetačního pokryvu na regionální úrovni (krajiny) a v časovém horizontu let (až desetiletí, např. podle cyklu přirozených disturbancí, viz Walker et al. 1993).

Prolínání metodických přístupů na rozdílných prostorových hladinách je zřejmé, pokud pracujeme se shodnými objekty (např. rostlinnými společenstvy, viz šedé obdélníky na obr. 1).

Obr. 1. – Časoprostorové uspořádání odpovídajících metodických přístupů při sledování změn vegetace.

Fig. 1. – Spatio-temporal pattern of methods for the monitoring of vegetation/land cover change.

Globální polohové systémy

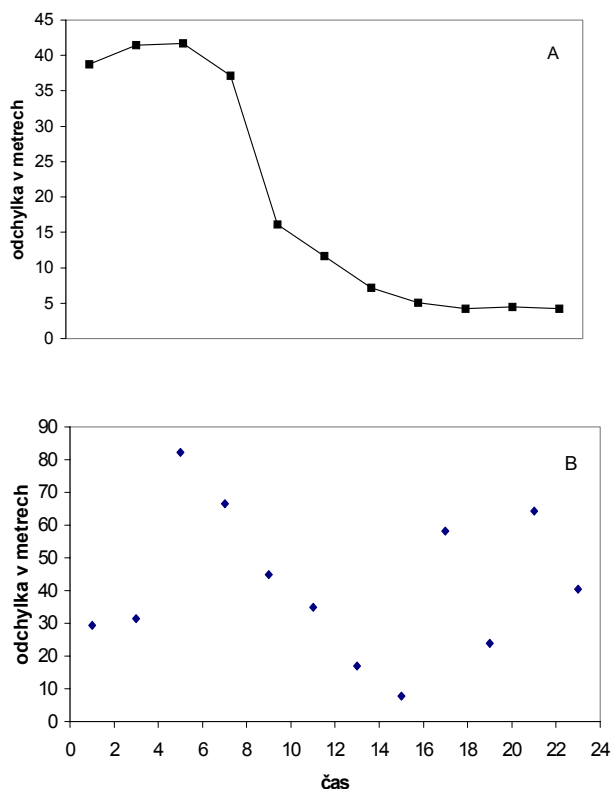
Zcela základní podmínkou sledování změn rostlinstva je lokalizace (s přesností odpovídající měřítku studia) monitorovacích ploch. Mezi moderní technické prostředky, které slouží pro přesnou lokalizaci a navigaci, patří také globální polohové systémy (GPS, technické pozadí viz např. Švábenský et al. 1995, Rapant 1998). Jedná se o družicový systém (celkem 24 družic), který 24 hodin denně umožňuje za jakéhokoliv počasí získat informaci o poloze a čase na libovolném místě na Zemi, a to s neuvěřitelnou přesností na metry (navigační přístroje) až centimetry (geodetické přístroje). Mimo jiné umožňují také sledování pohybu vozidel a automatizovaný sběr polohových dat.

V zásadě existují dva režimy, v nichž GPS pracují. Jedná se jednak o fázový režim měření (přesnější, vyžadující síť pozemních stanic, citlivý k zastínění korunami stromů, vysoké pořizovací náklady), jednak o kódový režim (méně přesný, lze měřit i v lese, nižší náklady). K jistému zkreslení dále dochází v důsledku záměrného rušení signálu americkou armádou (omezení navigace nepřátelských řízených střel atp.). Pro odstranění tohoto efektu se používá síť referenčních pozemních stanic, které umožňují odečítat záměrné zhoršení signálu (přesnost s využitím stanic ve fázovém režimu jde na centimetry, v kódovém režimu na 5–10 metrů). Představuje to však další nárůst pořizovacích nákladů, sníženou mobilitu a platbu paušálních poplatků za příjem rádiového signálu referenční stanice.

Pro orientační lokalizaci floristických zápisů či fytoocenologických snímků lze běžně využít některý z tzv. „ručních“ systémů GPS (kódový systém). Jedná se o přijímače velikosti dálkového ovladače, které pracují (bez rádia) s přesností 7–100 metrů (cena do 20 tisíc Kč; pochopitelně pro lokalizaci, kde je požadavek na přesnost vyšší, je třeba použít vyspělejší fázový systém GPS, např. Trimble, jehož cena je však o řád vyšší). Výhledově se očekává znatelný nárůst přesnosti (10 m) související s ukončením záměrného rušení signálu armádou. Pak by ruční GPS byly použitelné i při zaměřování trénovacích ploch pro klasifikaci satelitních snímků (Landsat TM má rozlišení 30 m, SPOT 10 m).

V zásadě existují dvě možnosti, jak zlepšit přesnost měření (obr. 2). První z nich je volba vhodné denní doby, kdy jsou „viditelné“ družice ve vhodné konstelaci a ve větším počtu (minimem pro změření polohy jsou 4 družice, polohy družic a optimální dobu pro měření lze zjistit na Internetu). Druhou možností je tzv. průměrování, tedy odečítání v opakovaných intervalech a průměrování naměřených hodnot (přístroje většinou mají tuto funkci zabudovanu automaticky). Jak vyplývá z obrázku, nemusí krátkodobé průměrování vždy přinést očekávaný efekt zpřesnění.

V kombinaci s vojenskými mapami (se souřadnou sítí, měřítko 1:25.000) představují GPS vynikající pomůcku pro orientační mapování flóry či vegetace. Pro přehledové práce (např. ČR) lze souřadnice odečíst i z autoatlasu 1:100.000 (Geodézie, 2. vydání 1997 se sítí po 5'), resp. jeho digitální podoby distribuované na CD-ROM. Vzhledem k budování všech možných databází flóry a vegetace bych velmi doporučoval všem terénním pracovníkům, aby využili možnosti lokace svých zápisů pomocí souřadnic, neboť tím velmi usnadní budoucí využití svých údajů.



Obr. 2. – Přesnost měření polohy pomocí ruční GPS v závislosti na délce průměrování (A) a kolísání dvouhodinových průměrů během 24 hodin (B, Gilbert 1995).

Fig. 2. – Accuracy dependence of positioning with GPS on the averaging time (A) and random fluctuation in 2 hour intervals during a day (B, Gilbert 1995).

Dálkový průzkum Země – satelitní data

V dálkovém průzkumu Země se uplatňují kromě leteckých také družicové snímky (Curran 1985, Richards 1993, Arnold 1996, u nás Hrkal 1989, Dornič 1992, Faiman 1995). Možnosti použití v ekologii jsou dány rozlišovací schopností a rozsahem vlnových délek snímaného odraženého záření (viz tab. 1). Nejčastěji se používají optická data pořízená skenerem Thematic Mapper družice Landsat (rozlišení 30 m), neboť rozsahem spektrálních pásem pokrývá a rozlišuje půdu, vodu a biomasu (blíže viz Holešínský 1999, obr. 1).

Během uplynulého desetiletí bylo publikováno nepřehledné množství prací s klasifikací satelitních dat (viz časopisy Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, International Journal of Remote Sensing, Remote Sensing of Environment, ITE Journal, populárnější Earth Observation, GIS Europe, Ambio, atp.). Existuje několik dostupných rešerší literatury, např. k hydrologické a hydroekologické problematice (Hrkal 1989, Žaloudík 1994). Oborově orientované přehledy pak vyšly ve sbornících, např. Walsh, Davis & Peet (1994), pro hydrobotaniku Lehmann & Lachavanne (1997).

Z kombinace spektrálních pásem jsou často používány tzv. vegetační indexy (např. NDVI), které vyjadřují množství biomasy a vycházejí z rozdílu hodnot vysoké odrazivosti v blízké IČ oblasti (800 nm) a oblasti červeného světla (680 nm, absorpční pásmo chlorofylu) normalizovaného na celkovou intenzitu dopadlého nebo odraženého záření. Zdravá lesní vegetace odráží v blízké infračervené oblasti (TM4) a absorbuje v krátkovlnné infračervené oblasti (TM5). Poškozená lesní vegetace zmenšuje odrazivost v TM4 a zvyšuje v TM5 (Pavelka 1997).

Tab. 1. – Údaje o některých satelitních snímačích (podle různých zdrojů).

Table 1. – Technical information of remote sensors (due to different sources).

Družice	kanál	spektr. rozsah (μm)	rozlišení (m)	rozloha (km)	od roku				
NOAA/AVHRR	AVHRR1	0,58–0,68	1100	2700×2700	1978				
	AVHRR2	0,72–1,10							
	AVHRR3	3,55–3,93							
	AVHRR4	10,3–11,3							
	AVHRR5	11,5–12,5							
RESURS-01	R1	0,5–0,6	160	600×600	1994				
	R2	0,6–0,7							
	R3	0,7–0,8							
	R4	0,8–1,1							
	Rterm	10,4–12,6							
LANDSAT	MSS4	0,5–0,6	80	185×185	1972				
	MSS5	0,6–0,7							
	MSS6	0,7–0,8							
	MSS7	0,8–1,1							
	MSS8	10,4–12,6				240			
	TM1	0,45–0,52					30	180×180	1982
	TM2	0,52–0,60							
	TM3	0,63–0,69							
	TM4	0,76–0,90							

	TM5	1,55–1,75			
	TM7	2,08–2,35			
	TM6	10,4–12,5	120		
SPOT-HRV	XS1	0,50–0,59	20	60×60	1986
	XS2	0,61–0,68			
	XS3	0,79–0,89			
	PANCHRO	0,51–0,73	10		
IRS-1C	PANCHRO	0,50–0,75	5,8	70×70	1996
	LISS-III	0,52–0,59	23,5	141×141	
		0,62–0,68	188	810×810	
		0,77–0,86	188	810×810	
		1,55–1,70	70	148×148	

Několik příkladů aplikací dat DPZ

NOAA/AVHRR

- mapa vegetačního/krajinného pokryvu USA 1:10 mil. (Loveland et al. 1991)
- sledování kontinentálních změn (Evropa) pomocí vegetačního indexu NDVI v letech 1985–1994 (Gutman & Ignatov 1995)
- hodnocení změn krajinného pokryvu pomocí vegetačních indexů a povrchové teploty (termální kanál), použito např. pro sledování jižního okraje Sahary v letech 1982–1991 (Lambin & Ehrlich 1996)

Landsat MSS

- mapování vegetace makrofyt oligotrofních jezer (SV Finsko), zhodnocení gradientu vodního prostředí (Raitala et al. 1985a, b)
- sledování vlivu sněhu na horní hranici lesa, využití temporálních dat a digitálního modelu terénu, hodnocení indexů krajinného pokryvu (Allen & Walsh 1993, 1996)
- vyhodnocení historických změn osídlení a dynamiky vegetace v období 1983–1989 pomocí vegetačních indexů, hladiny vody a klimatických dat (Lee & Marsh 1995)

Landsat TM

- ověřování detekce poškození lesa pomocí kanálů MSS, TM4 a TM5 (Rock et al. 1986)
- monitoring a mapování vodních rostlin a stupně eutrofizace sladkovodních jezer v Nizozemí (van Oirschot et al. 1990)
- sledování regenerace mladých porostů douglasky tisolisté a vyhodnocení věkové struktury (poměr TM4/TM5 vykazuje průkaznou korelaci s věkem) (Fiorella & Ripple 1993)
- vyhodnocení poškození lesních porostů v Krušných horách (Lambert et al. 1995)
- analýza a hodnocení hranic krajinného pokryvu krajinně-ekologickými metrikami (Metzger & Muller 1996)

SPOT

- hodnocení pokryvnosti dubů v jihošpanělské otevřené doubravě (Joffre & Lacaze 1993)
- vyhodnocení závislosti změn vegetace na druhotném vstupu živin do zemědělské půdy (Rutchev & Vilcheck 1994)

Zpracování družicových dat se provádí pomocí programů obrazové analýzy, které vedle vlastní klasifikace obsahují i moduly pro předzpracování dat, jejich rektifikaci a tvorbu výstupu a formou doplňkových modulů poskytují řadu dalších funkcí, jako multispektrální fotogrammetrii, modelování nad rastrem, tvorbu digitálního modelu reliéfu (ze stereopáru

SPOT), atmosférickou korekci atp. Nezbytným propojením v pokročilých analytických úlohách je přenos klasifikace do prostředí GIS a její využití spolu s dalšími vrstvami v geografické analýze (satelitní klasifikace se tak stává tématickou vrstvou v projektu GIS, blíže viz Tuček 1998, Burrough & McDonnell 1998). Několik příkladů zpracování satelitních dat z našeho území (Landsat TM, není-li uvedeno jinak):

- modelování stanovišť tetřívka obecného ve Žďárských vrších a modelový projekt GIS CHKO (Pauknerová & Brokeš 1992, Petch, Pauknerová & Heywood 1995);
- určení rizikových oblastí vývoje lesních porostů v NP Krkonoše od r. 1979 (Landsat MSS a TM, Šíma 1995);
- vývoj poškození smrkových porostů v KRNAP v letech 1984–1992 (Škapec, Pauknerová & van der Horst 1994);
- vývoj poškození lesních porostů ČR (Stoklasa 1995);
- vývoj lesních porostů a krajinného pokryvu ve VVP Libavá (Nováček 1995);
- vývoj lesního hospodaření na jednotkách potenciální přirozené vegetace BR Křivoklátsko (Kučera et al. 1998);
- mapování aktuální vegetace (land cover) ve VVP Hradiště v Doupovských horách (SPOT4, O. Holešínský a J. Kopáček, AOPK ČR 1999, unpubl.).

Nové možnosti poskytují skenery s rozlišením pod 10 m. Týká se to indické družice IRS (panchro 5,8 m) a především připravované družice SPOT5 (zachovává rozsah pásem, panchro bude mít rozlišení 5 m, B1–B3 10 m a střední infračervené pásmo MIR 20 m, klasifikace budou poskytovat velmi kvalitní konvenční mapové výstupy v měřítku 1:50.000).

Postupné odtajňování vojenských snímků ze špionážních družic poskytne také řadu zajímavých prostorových dat, zvláště pro hodnocení krajinného pokryvu (např. snímky CORONA s rozlišením 8 m z let 1960–1972, ústní sděl. J. Rejla). Komercializace dálkového průzkumu přináší řadu dalších otevřených možností snímání vybraných území přímo na zakázku. V této oblasti lze očekávat prudký rozvoj počtu i kvality snímačů a snad i následné zlevnění satelitních dat.

Dalším zdrojem, se kterým u nás ještě nejsou žádné zkušenosti, jsou letecká data z hyperspektrálního skeneru (32–512 spektrálních pásem, rozlišení 1 m). Na sympóziu IAVS v Českých Budějovicích (1997) byla prezentována řízená klasifikace pobřežní vegetace slanisk na Amelandu (Nizozemsko) na datech ze snímače CAESAR (CCD Airborn Experimental Scanner for Application in Remote sensing, 12 pásem v rozsahu 520–780 nm), která rozlišila jednotlivé dominanty bylinného patra (Janssen et al. 1996).

Závěr

Satelitní data poskytují do budoucna značný potenciál pro monitorování změn vegetace (krajinného pokryvu) větších území – regionů. Zatím je jejich širší využití spojeno s jistými provozními potížemi (drahé vybavení počítači a programy, vysoké pořizovací ceny dat, značné datové objemy, špatná dostupnost digitálních dat mezi resorty atp.), takže rutinní zpracování a pravidelné pořizování dat provozuje jen několik málo subjektů (mezi nimi lze vyzdvihnout pracoviště DPZ a GIS na AOPK ČR). Lze však očekávat, že s postupným uvolňováním těchto dat (zejména starších) a s rozvojem tolik potřebného systému centrálního státního datového centra, které bude data poskytovat k nekomerčnímu využití, poroste počet aplikací a využití těchto zdrojů v praxi. Ve

vyspělých státech obdobný systém funguje a odborná výuka jej intenzivně využívá.

Rostoucí rozlišovací schopnost a přesnost satelitních snímačů dává dobrý výhled na budoucí monitorování vegetačních změn v prostoru. Prudce se rozvíjející metody krajinné ekologie poskytují řadu nových přístupů k posuzování významu a funkce vegetace v krajině.

Summary

The remote sensing has a great importance as a modern method for the monitoring of vegetation/land cover change. Using the GPS system for the location of floristic and vegetation sampling is recommended. The satellite data give a basic information of large areas, based on the classification process and the land data interpretation. A review of the up-to-date applications in vegetation science shows possibilities in vegetation/land cover evaluation. The scale of results depends on the resolution (pixel size) and spectral bands. In the Czech Republic we have a good experience with Landsat TM and SPOT classifications in nature conservation (i.e. the Krkonoše [Giant Mts.] National Park, Křivoklátsko BR, Žďárské vrchy PLA etc.).

Poděkování

Za řadu cenných připomínek a doplňků děkuji Dr. L. Škapcovi a za některé informace o novějších snímačích jakož i za ukázky výstupů projektů AOPK ČR děkuji Dr. J. Rejlovi.

Literatura

- Allen T.F.H. & Hoekstra T.W. (1992): *Toward a Unified Ecology*. – Columbia Univ. Press.
- Allen T.R. & Walsh S.J. (1993): Characterizing multitemporal alpine snowmelt patterns for ecological inferences. – *Photogram. Engin. Rem. Sens.* 59/10: 1521–1529.
- Allen T.R. & Walsh S.J. (1996): Spatial and compositional pattern of alpine treeline, Glacier National Park, Montana. – *Photogram. Engin. Rem. Sens.* 62/11: 1261–1268.
- Arnold R.H. (1996): *Interpretation of Airphotos and Remotely Sensed Imagery*. – Prentice Hall.
- Aubrecht G., Dick G. & Prentice C. (1994): Monitoring of ecological change in wetlands of Middle Europe. – *Stapfia* 31:1–224.
- Bissonette J.A. (1997): Scale-sensitive ecological properties: historical context, current meaning. – In: Bissonette J.A. [ed.], *Wildlife and Landscape Ecology. Effects of Pattern and Scale*, p. 3–31, Springer.
- Boresjö L. (1989): Landsat TM and SPOT Data for Medium-Scale Mapping of Swedish Vegetation Types. – *Nat. Swed. Env. Prot. Board, Rep.* 3571, Solna.
- Budd J. T. C. (1991): Remote sensing techniques for monitoring land-cover. – In: Goldsmith B. [ed.], *Monitoring for Conservation and Ecology*, p. 33–60, Chapman & Hall.
- Burrough P. A. & McDonnell R. A. (1998): *Principles of Geographical Information Systems*. – Oxford Univ. Press.
- Curran P.J. (1985): *Principles of Remote Sensing*. – Longman Sci. Tech.
- Dornič J. (1992): *Dálkový průzkum Země*. – Praha.
- Faiman Z. (1995): Družicové a letecké snímky. – *Ochr. Přír.* 50: 333–335.
- Farina A. (1998): *Principles and Methods in Landscape Ecology*. – Chapman & Hall.

- Fiorella M. & Ripple W.J. (1993): Analysis of Conifer Forest Regeneration Using Landsat Thematic Mapper Data. – *Photogram. Engin. Rem. Sens.* 59/9: 1383–1388.
- Forman R. T. T. (1995): *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions.* – Cambridge Univ. Press.
- Gilbert Ch. (1995): Averaging GPS data without applying differential correction. – *Earth Observ. Mag.* 1995/2: 44–46.
- Goldsmith B. [ed.](1991): *Monitoring for Conservation and Ecology.* – Chapman & Hall.
- Green D. R., Cummins R., Wright R. & Miles J. (1993): A methodology for acquiring information on vegetation succession from remotely sensed imagery. – In: Haines-Young R., Green D. R. & Cousins S. H., *Landscape Ecology and GIS*, Taylor & Francis.
- Guth J. & Kučera T. (1997): Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. – *Příroda* 10: 107–124.
- Gutman G. & Ignatov A. (1995): Global land monitoring from AVHRR: potential and limitations. – *Internat. J. Rem. Sens.* 16/13: 2301–2309.
- Holešinský O. (1999): Využití družicových snímků Landsat TM pro zjišťování změn ve vegetaci CHKO Železné hory. – *Zpr. Čes. Bot. Společ.* 34, Mater. 17: xx–yy.
- Hrkal Z. (1989): *Metody dálkového průzkumu v hydrogeologii.* – Metodická přír. ÚÚG 10, Praha.
- Janssen J.A.M., Kloosterman E.H., van der Bergs J. & Zonneveld L.M.L. (1996): The Ameland Scale Levels Project: the suitability of remote sensing techniques for vegetation monitoring in nature management [in Dutch]. – Netherlands Remote Sensing Board, BCRS rep. 95-16, 114 p., Delft.
- Joffre R. & Lacaze B. (1993): Estimating tree density in oak savanna-like dehesa of southern Spain from SPOT data. – *Int. J. Rem. Sens.* 14: 685–697.
- King A. W. (1997): Hierarchy theory: a guide to system structure for wildlife biologists. – In: Bissonette J.A. [ed.], *Wildlife and Landscape Ecology. Effects of Pattern and Scale*, p. 185–212, Springer.
- Kovács M. [ed.] (1992): *Biological Indicators in Environmental Protection.* – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Kučera T., Kolbek J., Ursta L., Komancová B., Němcová L. & Baráková B. (1998): Mapy potenciální přirozené vegetace v ochraně přírody: příklad mapy 1:25000 CHKO a BR Křivoklátsko. – *Ochr. Přír.* 53: 204–207.
- Lambert N.J., Ardö J., Rock B.N. & Vogelmann J.E. (1995): Spectral characterisation and regression-based classification of forest damage in Norway spruce stands in the Czech Republic using Landsat Thematic Mapper data. – *Internat. Journ. Remote Sensing* 16/7: 1261–1287.
- Lambin E.F. & Ehrlich D. (1996): The surface temperature-vegetation index space for land cover and land cover change analysis. – *Internat. Journ. Rem. Sens.* 17/3: 463–487.
- Lee Ch.T. & Marsh S.E. (1995): The Use of Archival Landsat MSS and Ancillary Data in a GIS Environment to Map Historical Change in an Urban Riparian Habitat. – *Photogram. Engin. Rem. Sens.* 61/8: 999-1008.
- Lehmann A. & Lachavanne J.-B. (1997): Geographic information systems and remote sensing in aquatic botany. – *Aquat. Bot.* 58: 195–207.
- Loveland T.R., Merchant J.W., Ohlen D.O. & Brown J.F. (1991): Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S. – *Photogram. Engin. Rem. Sens.* 57: 1453–1463.
- Metzger J.-P. & Muller E. (1996): Characterizing the complexity of landscape boundaries by remote sensing. – *Land. Ecol.* 11: 65–77.
- Nováček V. (1995): Vybrané příklady použití metod a materiálů dálkového průzkumu Země v brněnské pobočce Ústavu geoniky AV ČR. – In: *Sborn. ref. IV. konfer. o dálk. průzk.*, Brno, p. 58–63.

- Pauknerová E. & Brokeš P. (1992): GIS ve státní ochraně přírody. – Ochr. Přír. 47: 142–148.
- Pauknerová E. & Kučera T. [eds.] (1997): Informační zdroje pro využití nástrojů GIS v ochraně přírody a krajiny. – Ed. Agentura ochr. přír. kraj. ČR, Praha, 92 p.
- Pavelka K. (1997): Monitorování změn lesních porostů v Krušných horách pomocí dálkového průzkumu Země. – In: Voženílek V. [ed.], Kartografie na přelomu tisíciletí, sborn. příspěv. 12. kartograf. konfer., 16.–18. září 1997, Olomouc.
- Petch J.R., Pauknerová E. & Heywood D.I. (1995): GIS in nature conservation: the Žďárské vrchy project, Czech Republic. – ITC Journal 1995-2: 133–142.
- Prach (1994): Monitorování změn vegetace. Metody a principy. – Metodika ČÚOP, 69 p.
- Raitala J. et al. (1985a): Application of Landsat satellite data for mapping aquatic area in north-eastern Finland. – Aquat. Bot. 21: 285-294.
- Raitala J. et al. (1985b): The unsupervised Landsat classification procedure applied to Lake Posionjärvi, NE Finland. – Ann. Bot. Fen. 22: 173-182.
- Rapant P. (1998): Úvod do družicových polohových systémů. – Geoinfo 2/98, append., 12 p.
- Richards J.A. (1993): Remote Sensing Digital Image Analysis. 2nd ed. – Springer-Verlag.
- Rock B.N., Vogelmann J.E., Williams D.L. & Hoshizaki T. (1986): Remote detection of forest damage. – Bioscience 36: 439–445.
- Rutchev K. & Vilcheck L. (1994): Development of an Everglades vegetation map using a SPOT image and the global positioning system. – Photogram. Engin. Rem. Sens., 60/6: 767–775.
- Schubert R. (1985): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. – Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Spellerberg I. F. (1991): Monitoring Ecological Change. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Stoklasa M. (1995): Informační systém zdravotního stavu lesů z kosmických snímků LANDSAT-TM. – In: GIS ve státní správě, Sborn. konfer., Chrudim.
- Šíma M. (1995): Studium postupných změn lesního krytu Krkonoš pomocí dat Landsat MSS a TM 1979. – In: Sborn. ref. IV. konfer. o dálk. průzk., Brno, p. 26–32.
- Škapec L., Pauknerová E. & van der Horst P. (1994): Geografický informační systém a management území národních parků. – Ochr. Přír. 49: 14–19.
- Švábenský O., Švec M. & Weigel J. (1995): Globální polohový systém GPS a geodetické souřadnicové systémy. – Explor. Geophys. Rem. Sens. Environ. 2: 34–40.
- Treitz P. M., Howarth P. J. & Gong P. (1992): Application of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: a case study. – Photogram. Engin. Rem. Sens. 58: 439–447.
- Tuček J. (1998): Geografické informační systémy. Principy a aplikace. – Computer Press, Praha.
- van Oirschot M.V. et al. (1990): Monitoring aquatic vegetation in the Lake Issel area. – In: Proc. Internat. Symp. Rem. Sens. Water Res., Enschede, the Netherlands, p. 731-742.
- Walker D.A., Halfpenny J.C., Walker M.D. & Wessman C.A. (1993): Long-term studies of snow-vegetation interactions. – Bioscience 43: 287–301.
- Walsh S.J., Davis F.W. & Peet R.K. (1994): Applications of remote sensing and geographic information systems in vegetation science. – J. Veg. Sci. 5: 609–756.
- Žaloudík J. (1994): Využití dálkového průzkumu Země v geoekologickém výzkumu vodní složky krajiny. – 161 p., ms. [Disert. pr., depon. in: ÚKE AV ČR, České Budějovice.]