

Porovnání metod výzkumu erozních procesů v produkčních zemědělských oblastech

Comparison of research methods of erosion processes in the productive agriculture areas

Šarapatka B., Netopil P.

Katedra ekologie a životního prostředí, PŘF UP Olomouc, Tř. Svobody 26, Olomouc, netopil.patrik@upol.cz, borivoj.sarapatka@upol.cz

Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá problémem vodní eroze v malém pilotním subpovodí řeky Průšánka v Šardické pahorkatině. Erozní procesy byly zkoumány dvěma různými přístupy. První perspektivní metodou byla digitální obrazová analýza, která obsahovala dva přístupy, a to digitální vizuální interpretaci a klasifikaci obrazu. Všechny výše zmíněné přístupy byly řešeny za pomoci GIS softwaru (ArcGIS, ERDAS IMAGINE). Druhou metodou byl odběr půdních vzorků pro potřeby alternativní metody měření množství radionuklidu ^{137}Cs gammaspektrometrem spojený s terénním průzkumem. Prvotní výsledky poukazují na různou přesnost a vhodnost použití při mapování eroze v zemědělské krajině.

Abstract

The paper discusses problem of the water erosion in the small study subcatchment Průšánka River in Šardická Upland, Czech Republic. The erosion processes were detected by two various methods. First method was digital image analyses, which contain two approaches - visual image interpretation and image classification, new perspective methods. All named approaches mentioned above were done using GIS software (ArcGIS, ERDAS IMAGINE). The last one was alternative technique of the ^{137}Cs radionuclide gamma spectrometry measuring, which was done after the soil sampling and field survey. The initial results indicate different accuracy and eligibility for solving of the erosion process and mapping in agricultural landscape.

Klíčová slova: eroze, vizuální obrazová interpretace, obrazová klasifikace, radionuklid, ^{137}Cs

Key words: erosion, visual image interpretation, image classification, radionuclide, ^{137}Cs

Úvod

Eroze půdy ve spojení s akumulací sedimentů patří mezi přirozené procesy. V podmínkách České republiky se uplatňuje převážně vodní a místně i větrná eroze. Tyto degradační procesy jsou v naší často intenzivně zemědělsky využívané krajině podporovány a urychlovány nevhodným managementem v zemědělství a lesním hospodářství. Eroze, ve své podstatě přirozený krajinný odnědávající proces, tak vlivem hospodářského působení člověka v krajině nabývá značných rozměrů. Výsledkem je tak častokrát velmi silně degradovaná půda, a to jak do plochy, tak napříč půdním profilem. Půda přitom patří mezi neobnovitelné přírodní zdroje. Její degradace hlavně vlivem plošné eroze má dalekosáhlé environmentální i ekonomické důsledky. Celkový rozsah a konkrétní dopady degradačního působení eroze však nejsou mnohdy známy, natož náležitě řešeny. Eroze již dávno není problémem lokálního charakteru ani několika mála posledních let. Nevratné změny probíhají ve zrychleném režimu desítky let, což je v takto postižené krajině patrné na první pohled. Mimo samotného odnosu a akumulace (redistribuce) půdy se eroze negativně projevuje i snížením úrodnosti půd, potažmo výnosů zemědělských plodin, znečištěním povrchových i podzemních vodních zdrojů a se zvýšenou sedimentací uvolněného materiálu na polích, v nivách, v korytech potoků a řek, stejně jako ve vodních nádržích, kde následně přispívá k eutrofizaci a kontaminaci vod (Zapata, 2002).

Materiál a metody

Pilotním územím pro zkoumání erozních procesů v krajině bylo vybráno okolí obce Čejkovičky, okres Hodonín. Konkrétněji v širším měřítku subpovodí vodního toku Průšánka (20,7 km²) v geomorfologickém okrsku Šardická pahorkatina. Dále byly vytipovány dílčí reprezentativní segmenty degradovaných ploch. Dominantním půdním typem je černozem typická, proto již prvotní terénní průzkum ukázal náchylnost této lokality k erozi. Původně mocný A-horizont bohatý na organické látky s typickým tmavým zbarvením je velkoplošně degradován až na půdotvorný substrát spraš, která je nápadně světlejší.

Hodnocení rozsahu a míry eroze bylo prováděno dvěma vybranými metodami, přičemž první z nich měla dva různé přístupy. První byla založena na klasifikaci a interpretaci erozních ploch na podkladě leteckých měřičských snímků, reprezentujících zkoumané území v současnosti, v roce 1968 a 1938. Snímky byly analyzovány tzv. digitální vizuální interpretací obrazu a standardní automatickou neřízenou klasifikací obrazu. Další metodou bylo měření stopového množství radionuklidů ¹³⁷Cs z odebraných půdních vzorků při terénním průzkumu. Výsledná data byla v závěru srovnávána z hlediska přesnosti a celkové vhodnosti pro posouzení rozsahu a míry eroze, zejména na zemědělské půdě.



Obr. 1,2,3: Náhled ortorektifikovaných leteckých snímků v různých časových řadách (zleva současnost, 1968 a dole 1938). Erozi postižené plochy (půdotvorná spraš) se jeví podle intenzity jako světlé (bílé) plošky.

Zdroj: GEODIS, VGHÚř Dobruška

Vizuální obrazová interpretace a klasifikace

Erozní plochy jsou na snímcích rozpoznatelné na základě fyzikálního principu různé spektrální odrazivosti jednotlivých druhů povrchů (materiálů), od kterých je záření reflektováno, příp. emitováno. Odlišná spektrální odrazivost černozemního A-horizontu a spraše tak umožňuje určení erozních ploch a podle přístupu i rozlišení míry degradace těchto ploch. Spektrální charakteristiku černozemního typu půdy nejvíce ovlivňuje obsah organické hmoty, resp. barva půdy. Dále se uplatňuje půdní vlhkost, textura a složení minerálního podílu půdy (Dobrovolný, 1998).

Dostupné letecké snímky jsou pořizovány ve viditelné části spektra. Na aktuálních barevných i archívních černobílých snímcích se projevují odlišné vlastnosti povrchového tmavého černického horizontu a světlejšího podpovrchového horizontu půdotvorného substrátu – spraše.

Dříve zmíněné přístupy umožňují identifikaci, lokalizaci a poměrně přesné určení plošné výměry erozí zasažených ploch z rastrové vrstvy leteckých snímků. Oběma přístupům ob-

razové analýzy předcházelo zpracování leteckých snímků do podoby bezešvé ortofotomapy. V případě historických snímků bylo nutné předzpracování fotogrammetrickým procesem manuální ortorektifikace, případně spojení výsledných ortofot.

Podstatou vizuální interpretace obrazu (snímků) je ruční vektorizace, tj. určení a zakres hranic erodovaných ploch přímo v softwarovém prostředí. Automatická obrazová klasifikace byla prozatím provedena tzv. neřízenou klasifikací obrazu, jejíž obecný princip je stejný jako při vizuální interpretaci. Rozdíl je v automatizování celého procesu formou klasifikačních matematických algoritmů neřízené klasifikace. Digitální (digitalizovaný archivní) letecký snímek je ze své podstaty rastr obrazových bodů (čtvercová mřížka). Jednotlivé obrazové body (pixely) jsou podle daných matematických pravidel řazeny do klasifikačních tříd podle obsažených spektrálních hodnot.

Letecké snímky byly používány při mapování půd již dříve, nicméně až rozvoj výpočetní techniky a geografických informačních systémů (GIS) umožnil provádět relativně rychlé a přesné analýzy tohoto typu dat dálkového průzkumu Země (Fulajtár, 1999).

Všechny uvedené analýzy obrazu byly prováděny v programu ArcGIS a ERDAS IMAGINE. Pro předpřípravu snímků a ortorektifikaci (archivní snímky), příp. tvorbu bezešvé ortofotomozaiky byl použit softwarový modul Leica Photogrammetry Suite, jenž nadstavbou softwarového balíku ERDAS IMAGINE.

Měření stopového množství radionuklidů

Hodnocení eroze je zde založeno na měření aktivity radionuklidů vázaných na půdní částice (Harmon & Doe, 2001). V odebraných vzorcích byl sledován stopový obsah atomů cesia, resp. jeho radioizotopu ^{137}Cs . Díky této technice, spojené s terénním průzkumem a odběrem půdních vzorků, je možné určit rozsah degradace půdy v ploše i do hloubky.

Zdrojem tohoto radioizotopu byly nejprve atmosférické testy jaderných bomb v 50. - 60. letech 20. století (Playford et al., 1963). Pro naše zeměpisné šířky byla významným regionálním zdrojem tohoto radionuklidu havárie v Černobylské jaderné elektrárně v dubnu 1986. Přímá závislost mezi ztrátou/erozí půdy a úbytkem koncentrace ^{137}Cs si všimly již první studie v 60. a 70. letech 20. století (Dahlman a Auerbach, 1968; Ritchie et al., 1974).

Hodnocení redistribuce ^{137}Cs je obecně založeno na srovnání naměřených hodnot tohoto radioizotopu (celková aktivita za plošnou jednotku) v určitém odběrném bodě (půdním vzorku) s referenční hodnotou, reprezentující kumulativní atmosférický spad na stanovišti (Zapata, 2002). Referenční hodnota je stanovena na základě stabilního stanoviště, tj. v ideálním případě takové, kde neprobíhala eroze ani depozice sedimentů. Tam, kde jsou naměřené hodnoty půdních vzorků nižší nežli místní referenční hodnota, je předpoklad pro ztrátu/erozi půd. Podobně funguje již prostá ne/přítomnost ^{137}Cs , která indikuje degradační změny v půdním profilu.

Ve zkoumaném segmentu pilotního území bylo provedeno několik odběrů půdních vzorků pro ověření výsledků obrazové analýzy leteckých snímků. Vzorky byly odebírány jako neporušené do odběrných válců zarážených elektrickým kladivem až do hloubky cca 3 m v akumulacích částech terénu a do cca 1 m ve svazích, resp. do 0,5 m ručním odběrovým zařízením v horních partiích svahu. Odebrané jádro, představující neporušený půdní profil v daném bodě, bylo poté stratifikováno po 5 cm. Takto získané půdní vzorky byly dle metodiky laboratorně zpracovány a změřeny na obsah ^{137}Cs pomocí laboratorního gamaspektrometru.

Výsledky a diskuse

Vizuální obrazová interpretace a klasifikace

Erozi dotčený půdní profil se na leteckém snímku jeví jako soubor výrazně světlejších ploch vystupující spráše na tmavším pozadí povrchového černozemního horizontu (na extrémně postižených stanovištích i naopak).

Využití této metody má přirozeně svá úskalí. Hlavním limitem pro takovou formu analýzy je pokrytí pozemků vegetací – plodinami. Primárně se tak pro oba přístupy této metody hodí zejména produkční zemědělské bloky nejlépe holé půdy. Jistým východiskem může být předpříprava obrazu, např. úprava kontrastu atp. Dále to může být kombinace několik časově posunutých řad leteckých snímků, kde jsou inkriminované plochy bez vegetace. Pokud je možné provést výběr snímků, jsou pro tyto analýzy vhodné snímky vyhotovené brzy na jaře či pozdě na podzim, kdy lze předpokládat minimální pokrytí vegetací. Nicméně při zkoumání většího území není možné se tomuto omezení prakticky vyhnout (ozimy). Specifikem úrodných intenzivně využívaných oblastí je také přítomnost speciálních kultur, jakými jsou vinice, sady nebo chmelnice, kde lze zasažené plochy dostatečně přesně vymezit jen manuálně vizuální interpretací. Zajímavým problémem bude jistě působení tzv. koluviačního procesu, který je typický právě pro silně erozně zasažená území, kdy mohou být erozi postižené plochy (degradované až na spraš) opětovně překryty uvolněnými sedimenty povrchového A-horizontu z odlehlejších částí svahu, případně i naopak.



Obr. 4, 5, 6: Výsledek – vektorová vrstva vizuální obrazové interpretace (zleva) za současný stav, rok 1968 a 1938 promítnutý na aktuální ortofotomapu, dokládající vývoj plošné eroze ve sledovaném území.

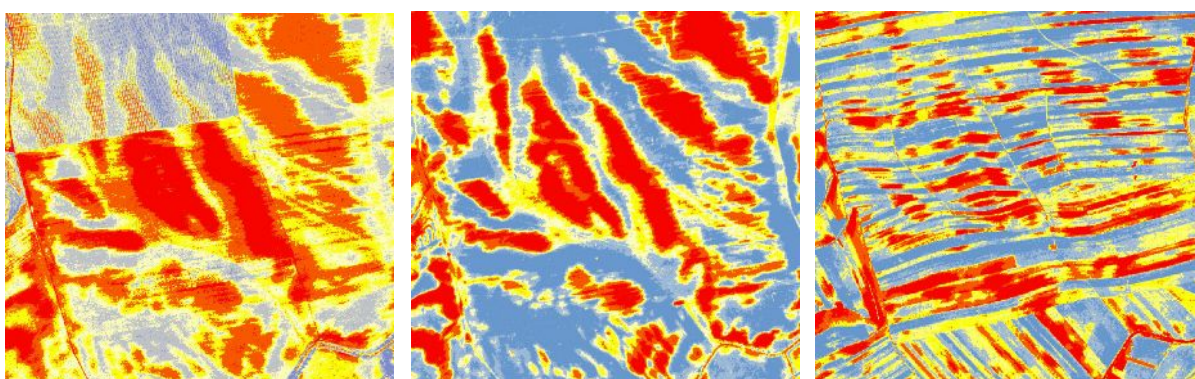
Zdroj: GEODIS, VGHÚř Dobruška

Oba použité přístupy této metody jsou charakteristické časovou náročností zpracování, určitou mírou subjektivity a výše zmíněnými potenciálními problémy při výběru snímků. Přesto však mají při studiu eroze své opodstatnění. Určitá subjektivita, resp. neobjektivnost typická pro vizuální interpretaci obrazu spočívá v samotné prostorové složitosti erozního procesu a tvorby koluvizemí (viz výše), a také v omezené možnosti rozlišení velkého množství barevných odstínů podobné intenzity lidským zrakem. Určení ne/erodovaných ploch či míry jejich narušení je pak značně subjektivní (zejména při velkém mapovém měřítku).

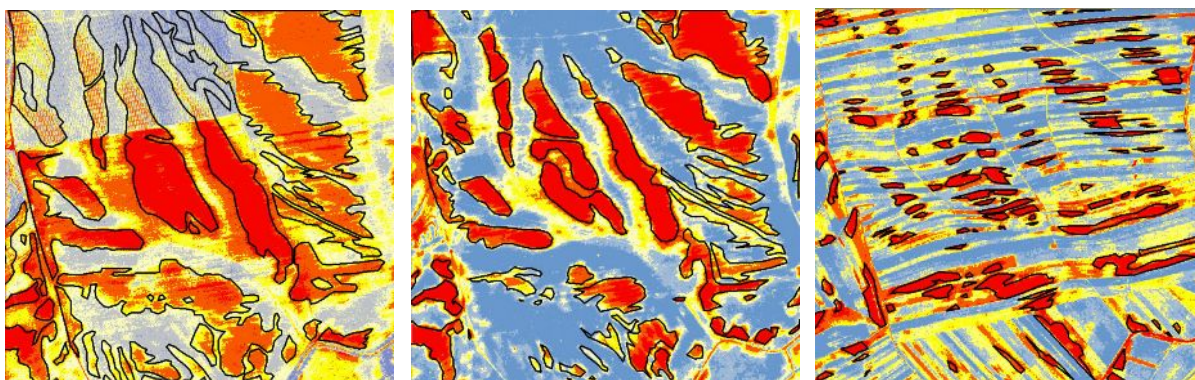
Automatická klasifikace obrazu má podobně své výhody i omezení, které plynou z automatizace procesu neřízené klasifikace obrazu jako takové. Mohou být totiž označovány plochy, které s erozí nemají nic společného (typicky povrch komunikací). Operátor nemůže při tomto přístupu (klasifikaci) přímo zasahovat. Nespornou výhodou je ovšem objektivnost podávaných výsledků, kdy by se při použití stejného software, dat a klasifikačního procesu

mělo dojít ke stejným výsledkům. Identifikace erozních ploch je v porovnání s vizuální interpretací výrazně přesnější a rychlejší. Při nastavení jistých kritérií by bylo možné rozlišit i různé stupně degradace.

Východiskem i řešením nevýhod obou analytických přístupů je jejich kombinace. Nejprve podrobit obraz automatické (neřízené) klasifikaci obrazu a poté jej vizuálně interpretovat (vektorizovat). Ve výsledku by se tak mohl projevit synergický efekt, kdy takto zpracovaný konečný výstup (mapa) může být přesnější a detailnější, nežli výstupy zpracované samostatně. Terénní průzkum, digitální model terénu a použití řízené klasifikace obrazu by mohlo výsledky ještě více zpřesnit a eliminovat tak nedostatky obou přístupů. Nespornou výhodou digitálního zpracování a zautomatizování je zejména rychlost, možnost obsáhnout i plošně velké území a takřka vyloučení subjektivity při zpracovávání dat za použití automatické klasifikace obrazu. Podstatným kladem je i jednoznačné určení spektrálních charakteristik (barevných odstínů) každého pixelu obrazu, což je jinak nereálné.



Obr. 7, 8, 9: Výsledek – rastrová vrstva neřízené klasifikace obrazu (zleva) za současný stav, rok 1968 a 1938, červeně až světle žlutě jsou označeny erozí postižené plochy.

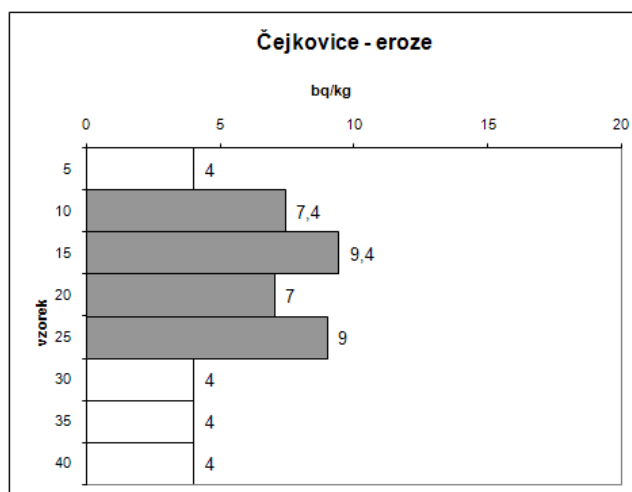


Obr. 10, 11, 12: Výsledek – rastrová vrstva neřízené klasifikace obrazu (zleva) za současný stav, rok 1968 a 1938, prolnutá s vrstvou vizuální interpretace obrazu.

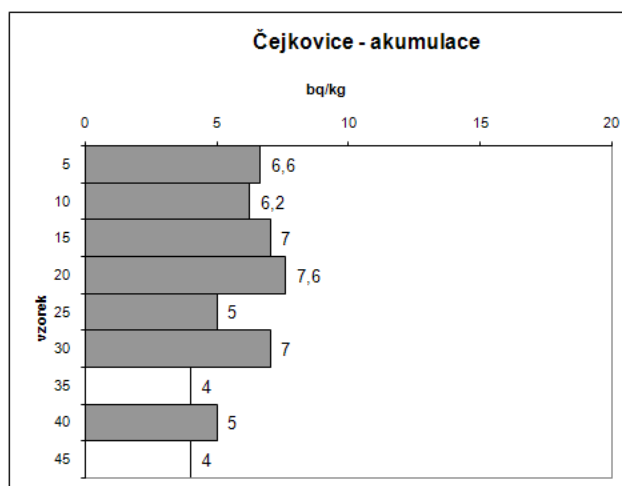
Měření stopového množství radionuklidů

Měření radionuklidů je ve větším měřítku jen těžko realizovatelné, hlavně s ohledem na časovou i fyzickou náročnost odběru půdních vzorků a jejich výslednou interpretaci. Tvorba erozní mapy založené čistě na gamaspektrometrickém měření je ještě náročnější, než je tomu u klasického terénního mapování půd. Bezkonkurenční předností je však přesnost a detailnost dosažených výsledků, které mohou sledovat dynamiku půdní eroze, a to jak v čase (za posledních 30-40 let), tak i v prostoru – v ploše i do hloubky půdního profilu.

Teoreticky je tak možné odhadovat i realitě velmi blízký objem (kubaturu) erozí přemístěných sedimentů, a to i v datovém rámci daném poločasem rozpadu ^{137}Cs .



Obr. 13: Distribuce cesia (^{137}Cs) v půdním profilu v horní části svahu potvrzuje pokročilý postup procesu eroze. Starší vrstvy (půdotvorný substrát spraše) bez měřitelného obsahu radioizotopu překrývají mladší (zbytky povrchového A-horizontu) se stopami ^{137}Cs deponovaného v průběhu cca 30-40 let.



Obr. 14: V akumulčním území je patrné navýšení povrchového horizontu vlivem eroze a následné depozice sedimentů (půdy) u paty svahu s náznaky koluviace.

Výsledné hodnoty jednotlivých půdních vzorků stratifikovaného půdního profilu poskytují relativně spolehlivý odhad míry půdní redistribuce za posledních 30-40 let. Získaná data jsou dále při počítačovém zpracování kompatibilní s matematickými modely a geostatickými postupy, zabývajícími se ztrátou, případně akumulací půdy. Konečným výsledkem modelování dat získaných měřeními aktivity ^{137}Cs pak mohou být erozně-akumulační mapy, zobrazující tento proces, jak na aktuálním povrchu, tak jeho vývoj směrem do hloubky. Tato metoda potvrdila výsledky plynoucí z výše popsaných přístupů obrazové interpretace a klasifikace, které se jeví jako velmi perspektivní alternativa ke klasické terénní práci.

Závěr

Klasické metody terénního mapování, sledující aktuální stav a vývoj erozního procesu v krajině, by mohly být výše zmíněnými metodami výrazně upřesněny a doplněny.

Aplikování dat dálkového průzkumu, zejména vizuální interpretace a klasifikace leteckých snímků, se jeví jako velmi perspektivní a efektivní možnost detekce reálného stavu i dlouhodobého vývoje eroze. Oba přístupy jsou dále rozvíjeny s předpokladem potlačení nedostatků při současném rozšíření spektra výhod.

Výsledky všech tzv. GIS metod byly nakonec ověřeny a srovnány s měřením radionuklidu ^{137}Cs v odebraných půdních vzorcích při terénním průzkumu. Ty byly odebírány v transektu protínajícím svah postižený erozí. Kromě laboratorního zpracování vzorků a měření obsahu radioizotopu ^{137}Cs , bylo prováděno i vizuálního posouzení odebraného profilu, což spolu s naměřenými hodnotami umožňovalo zhodnotit i dynamiku eroze napříč půdním profilem a částečně i v čase.

Znalost prostorového rozložení erodovaných ploch je důležitým předpokladem pro efektivní ochranu půdy, resp. pro návrh půdoochranných opatření, před účinky zejména vodní eroze v naší intenzivně zemědělsky využívané krajině. Přitom relevantní informace o tomto degradačním procesu nejsou plošně podrobně mapovány. Zajímavým mapovacím prostředkem masového charakteru by do budoucna mohly být výše zmíněné metody založené na datech dálkového průzkumu, a to jak při identifikaci a lokalizaci, tak i určování celkové výměry a míry erozí degradovaných ploch, případně při mapování nově vznikajících kolvizemí.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy a Ministerstvu životního prostředí za podporu výzkumu prostřednictvím grantů 2B06101 a VaV 1c/4/8/04 a dále doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi, CSc. za spolupráci při analýzách radionuklidů ^{137}Cs v půdních vzorcích.

Použitá literatura

- Dahlman, R. C., a Auerbach, S. I., 1968: Preliminary estimation of erosion and radiocesium redistribution in fescue meadow, ORNL-TM-2343. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.
- Dobrovolný, P., 1998: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. 1. vyd. Masarykova univerzita, Brno. 208 s.
- Fulajtár E (2001) Identification of Severely Eroded Soils from Remote Sensing Data Tested in Rišňovce, Slovakia. In: Stott, DE, Mohtar RH, Steinhardt GC (eds.) Sustaining the Global Farm, Proceedings, Purdue University and USDA –ARS National Soil Erosion Research Laboratory, pp. 1075-1081.
- Harmon, R. S. and Doe III, W. W., 2001: Landscape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 540 pp.
- Janeček, M. a kol., 2007: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 1. Praha: VÚMOP. 76 s.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W., 2007: Remote sensing and Image Interpretation. Sixth Edition. Wiley, 756 pp.
- Playford, K., Toole, J., a Adsley, I., 1993: Radionuclide fallout in air and rain: results to the end of 1991. AEA-EE-0498. Harwell: UK Atomic Energy Authority.
- Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. 2002: Kvalita a degradace půdy. I. vyd. Univerzita Palackého, Olomouc. 246 s.
- Ritchie, J.C., a McHenry, J. R., 1990: Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. Journal Environmental Quality, 19, 215-233.
- Ritchie, J.C., Spaberry, J. A., a McHenry, J. R., 1974: Estimating soil erosion from the redistribution of fallout ^{137}Cs . Soil Science Society of America Proceedings, 38, 137-139.
- Zapata, F. (2002): Handbook for assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclide, 219 pp.