

Konstantin Krivoruchko

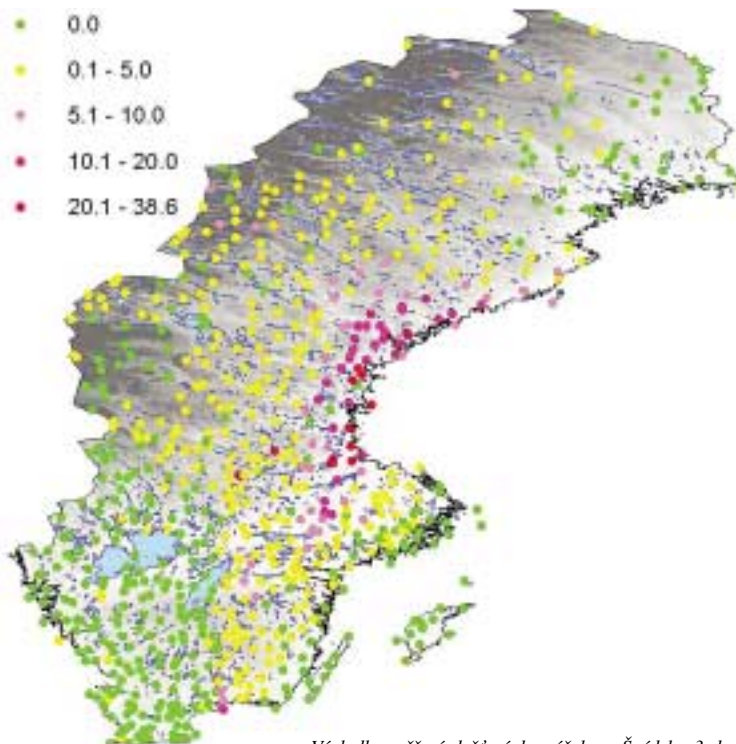
Analýza následků Černobylu s použitím GIS a prostorové statistiky

26. dubna 1986 v 1.23 hodin ráno se v černobylském nukleárním reaktoru řetězová reakce vymkla kontrole, což zapříčinilo řadu explozí. Tyto exploze odhodily ocelový kryt reaktoru včetně betonového poklopu. Z místa havárie v tehdejším Sovětském svazu (dnešní Ukrajina) se radioaktivní záření rozšířilo do Evropy. Havárie Černobylu byla jedna z největších průmyslových katastrof, které Zemí postihly. Radioaktivní částice zůstaly v atmosféře mnoho dní a rozptýleny byly až do Skandinávie, Velké Británie či Řecka.

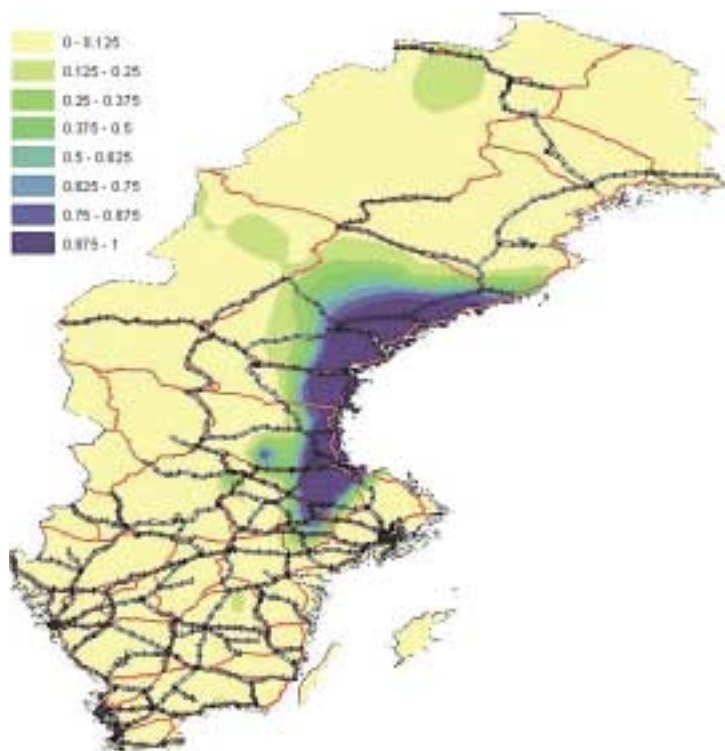
Vzhledem dlouhému poločasu rozpadu radionuklidů cesia (kolem 30 let) se jejich vliv na zemědělství projevoval ještě mnoho let poté, co ustal okamžitý vliv na zdraví obyvatel. Z tohoto důvodu je důležité posoudit vliv radionuklidů cesia konzumovaného spolu s kontaminovanou stravou na obyvatelstvo. V následujícím textu najdete příklad využití nadstavby ArcGIS Geostatistical Analyst pro mapování množství radioaktivního spadu ve Švédsku a také několik příkladů analýz provedených nad běloruskými daty, které se týkají zejména dopadů havárie na zdraví tamějšího obyvatelstva.

Následky radiace na lidské zdraví

Radioaktivní spad z atmosféry se ukládá v půdě, odkud se dostává do vegetace, pak potravním řetězcem dále a v konečném důsledku způsobuje zvýšení pravděpodobnosti výskytu rakoviny. V případě chemického znečištění životního prostředí může výrazně vzrůst výskyt vážných chorob. Jak je popsáno níže, pro provedení detailní analýzy radioaktivní kontaminace a jejího dopadu na zdraví byl použit ArcGIS a ArcGIS Geostatistical Analyst.



Výsledky měření dešťových srážek ve Švédsku 3 dny po havárii jsou vizualizovány s využitím dat z Institutu pro životní prostředí a trvale udržitelný rozvoj při Evropské komisi (Ispra, Itálie).



Pravděpodobnost, že srážky ve Švédsku 29. dubna 1986 byly větší než 6 mm. Jako indikátor hustoty obyvatelstva jsou zobrazeny hlavní silnice a železnice. Přestože je Stockholm vzdálen od Černobylu více než 1300 km, bylo Švédsko znečištěno více než mnoho sousedních zemí, a to právě díky radioaktivním srážkám.

Radioaktivní déšť ve Švédsku

Meteorologická data jsou zvláště důležitá zejména v prvních hodinách po haváriích, které způsobily únik velkého množství chemických či radioaktivních látek. Dokonce i před měřeními kontaminace půdy radionuklidů mohou být srážková data využita pro určení oblastí, kde by bylo vhodné neprodleně nasadit prostředky obrany. V roce 1986 sestávala síť meteorologických stanic ve Švédsku z více než 700 monitoringových center. Vezmeme-li v úvahu směr větru a vzdálenost Černobylu od švédské hranice, je velmi pravděpodobné, že déšť, který nastal několik dní po havárii, byl radioaktivní.

Bez ohledu na hustotu monitorovací sítě existuje mnoho oblastí, pro která nejsou měření k dispozici, přičemž prognózy pro tato území jsou k vymezení postižených míst nutné. Při stanovování prognóz se do hry přidává další důležitý aspekt: každá prognóza je zatížena stupněm nejistoty, která může být pro rozhodování velmi důležitá. Jednou z možných cest kombinace prognózy a jejího stupně nejistoty je vytvořit pravděpodobnostní mapu, která říká, kde byl překročen určitý práh srážkových hodnot.

Geostatistický model prostorových dat používá semi-variogram (funkci vzdálenosti a směru mezi dvěma lokacemi) pro vyčíslení prostorové korelace v datech. Semivariogram je pak použit k definování vah pro metodu krigingu, která určuje hodnotu příspěvku každého datového bodu pro odhad (prognózu) nových hodnot. Kriging je geostatistická interpolační technika, která využívá statistické vlastnosti jednotlivých měření, váží míru nejistoty prognózy a dovoluje tak určit stupeň její přesnosti.

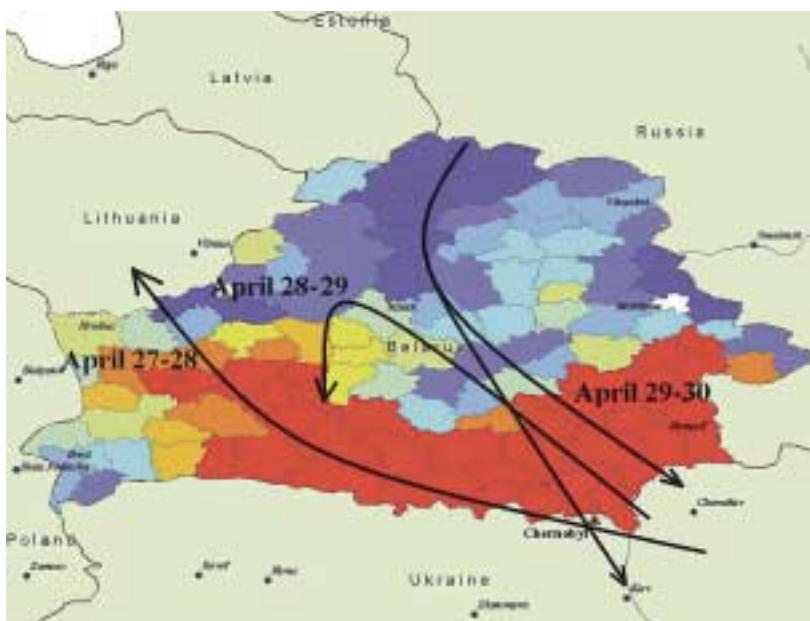
Nadstavba ArcGIS Geostatistical Analyst používá několik modelů pro mapování pravděpodobnosti, přičemž každý z nich je založen na odlišných předpokladech. Pomocí těchto modelů ukázal autor (viz kontaktní informace níže), že dešťové srážky z 29. dubna byly příčinou kontaminace půdy radionuklidů cesia ve středních a východních částech Švédska. Kontaminace dalších švédských oblastí byla způsobena deštěm v následujících několika dnech. Je zřejmé, že déšť byl jediným možným způsobem sražení radioaktivního spadu a přesná meteorologická data by umožnila úřadům neprodleně nasadit obranné prostředky, aniž by musely čekat na aktuální data kontaminace půdy.

Četnost výskytu rakoviny štítné žlázy u běloruských dětí

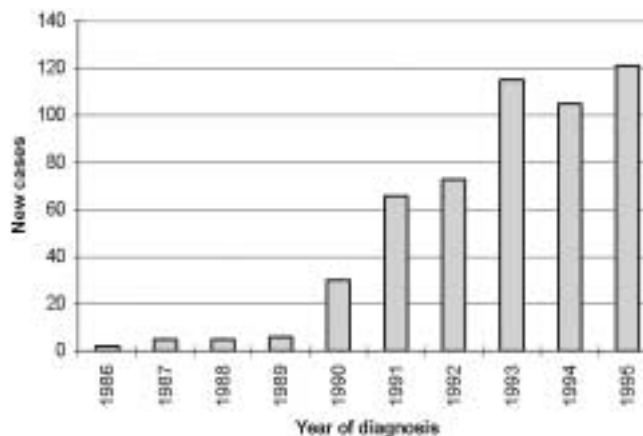
V průběhu prvních dní po havárii vstřebali obyvatelé Běloruska štítnou žlázou vysoké dávky radiace, ať již vdechováním kontaminovaného vzduchu, či konzumací kontaminovaných potravin, zejména kravského mléka a čerstvé zeleniny. Populace nebyla informována o nukleární havárii a potřebě jodidové profylaxe. Jodidová profylaxe je velmi jednoduchá, leč efektivní metoda. Člověk spolkne jodidovou piluku a obsažený neaktivní jód zabráni vstřebání radioaktivního jodidu prostřednictvím štítné žlázy.

Ještě před černobylskou havárií se v celé dětské populaci Běloruska vyskytovala rakovina štítné žlázy přibližně v jednom případě za rok. Následkem ozáření přechodnými radionuklidy

včetně radioaktivního jódu nastal trvalý vzestup výskytu nových případů této nemoci. Prostorový rozptyl kumulativního podílu výskytu rakoviny štítné žlázy v průběhu 10 let (1986–95) dosáhl až na 1,72 případů na 1 000 dětí v Braginu, 1,68 v Narovlye a 1,28 v Hoiniki. Tyto oblasti jsou Černobylu nejbližší. (Potřebná data poskytl Sakharovův institut radioekologie se sídlem v běloruském Minsku.)



Směr větru nad územím Běloruska v dubnu 1986. S použitím filtrovaného krigingu jsou jednotlivé oblasti Běloruska různobarevně vykresleny podle pravděpodobnosti, že výskyt rakoviny štítné žlázy u dětí překročí jeden případ z 10 000. Červená značí nejvyšší pravděpodobnost, modrá nejnižší. (Data: Sakharovův institut radioekologie, Minsk, Bělorusko)



Nové případy výskytu rakoviny štítné žlázy za rok u běloruských obyvatel, kteří byli v roce 1986 mladší 15 let.

Jsou-li data agregována přes polygonální regiony jako v případě rakoviny štítné žlázy, bude geostatistický výzkum měřit sousedství vzdáleností mezi středy polygonů. Vzdálenost mezi jednotlivými místy by však neměla být založena pouze na přímé vzdálenosti, ale také na meteorologických datech. Četnosti výskytu rakoviny rovněž porušují předpoklad stacionarity, která je nezbytná k definici semivariogramu. Stacionarita je termín vymežující statistické vlastnosti nezávislé na exaktních umístěních, takže předpokládaná střední hodnota proměnné v jednom místě je shodná se střední hodnotou v jiném místě. Ještě důležitější je však to, že odchylka ve zkoumané oblasti by měla být konstantní

a kovariance mezi dvěma místy závisí pouze na vektoru, který je odděluje, ne na jejich přesných polohách.

Je-li stacionarita porušena, mohou být mapy, které jsou založeny na tomto zkresleném semivariogramu, matoucí. Autor použil metodu filtrovaného krigingu (tj. odhadu nové hodnoty k umístění dat, jež předpokládá poškození dat chybou měření). Tato mapa by tedy měla být použita pouze jako kvalitativní informace.

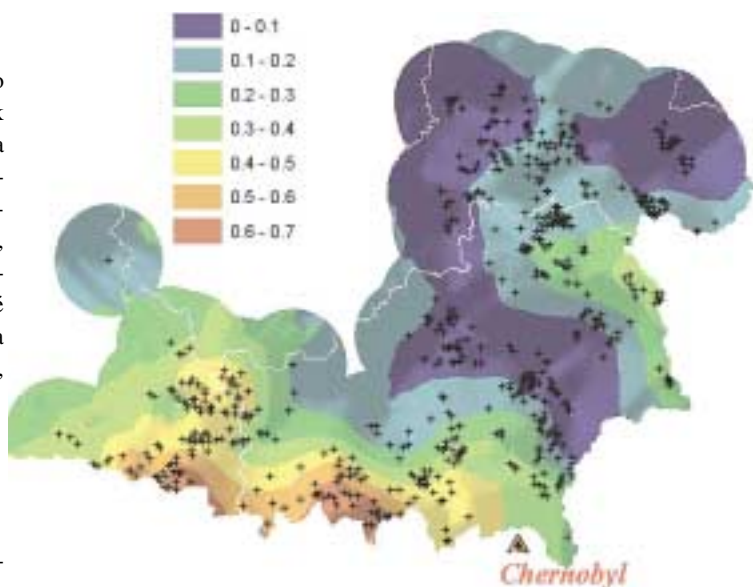
Nadstavba ArcGIS Geostatistical Analyst dovoluje provádět tyto analýzy v rámci prostředí ArcGIS a vytvářet mapu, která je jak přesná, tak vizuálně přístupná odborné veřejnosti. Je-li rakovina štítné žlázy primárně způsobena ozářením přechodnými radionuklidy, může souvislá mapa rizika onemocnění tímto druhem rakoviny pomoci určit míru ozáření populace těmito radionuklidy, které jsou rozptýleny v závislosti na meteorologických podmínkách prvních dnů po havárii. Taková mapa poskytuje užitečné informace o možných příčinách dalších chronických chorob, na jejichž vzniku se mohlo podílet ozáření stejně jako další faktory, ať již sociologické nebo environmentální.

Kontaminace potravin radionuklidy cesia v Bělorusku

V současné době má vnitřní ohrožení z potravin kontaminovaných radionuklidy cesia více než poloviční podíl na vyšší radioaktivní dávky, kterou přijali obyvatelé Běloruska. Příjem vesnických obyvatel v jižním Bělorusku jim neumožnil přístup k nekontaminované stravě, takže i nadále konzumovali zeleninu, brambory a mléko z vlastní produkce. Tato strava je často doplňována houbami a lesními plody z blízkých lesů. O úrovni jejich kontaminace není třeba hovořit.

V roce 1993 bylo Běloruským institutem pro radiační bezpečnost provedeno více než 50 000 měření radionuklidů cesia v hlavních

typech potravin. Případy, kdy výskyt těchto radionuklidů v potravinách přesáhl horní povolenou hranici, byly publikovány v informačních bulletiních institutu, které mohly rodinám v postižených oblastech potenciálně pomoci. Kontaminace radionuklidy cesia je rozložena velmi nerovnoměrně jak geograficky, tak v různých druzích potravin, takže je mapování pravděpodobnosti v tomto případě zvláště důležité – napomáhá totiž lepší informovanosti obyvatelstva v rizikových oblastech.

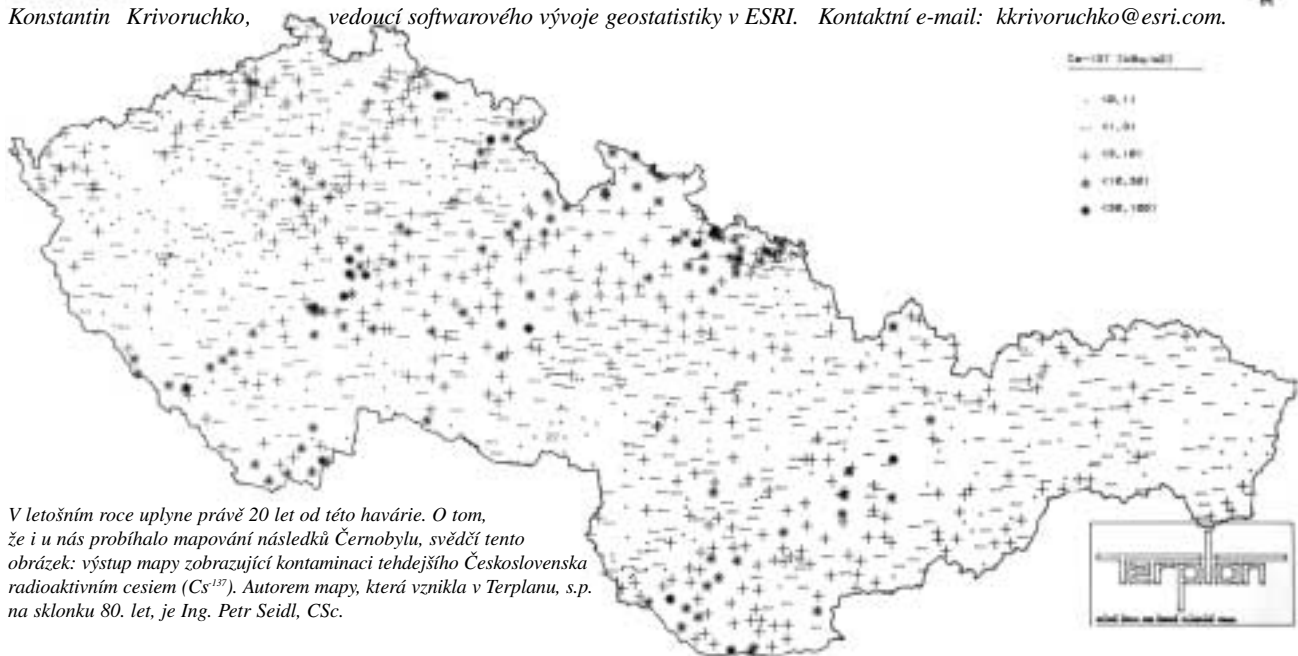


Tato mapa ilustruje pravděpodobnost, že kontaminace kravského mléka radionuklidy cesia v roce 1993 přesáhne 75 procent od horní povolené hranice. Mléko odpovídající přibližně 36 procentům vnitřní dávky radionuklidů cesia přijaly populace v rurálních oblastech. (Vytvořeno metodou disjunkčního krigingu na základě dat shromážděných Běloruským institutem pro jadernou bezpečnost, Minsk, Bělorusko.)

Nadstavba ArcGIS Geostatistical Analyst dovoluje vzít v úvahu opakovaná měření, doplňující informace, či odhadované chyby měření a odfiltrovat tyto chyby při prognózách vztažených k umístění dat. Je tak umožněna identifikace nejrizikovějších oblastí, tedy oblastí, kde je kontaminace všech hlavních potravin vysoká.



Konstantin Krivoruchko, vedoucí softwarového vývoje geostatistiky v ESRI. Kontaktní e-mail: kkrivoruchko@esri.com.



V letošním roce uplyne právě 20 let od této havárie. O tom, že i u nás probíhalo mapování následků Černobylu, svědčí tento obrázek: výstup mapy zobrazující kontaminaci tehdejšího Československa radioaktivním cesiem (Cs^{137}). Autorem mapy, která vznikla v Terplanu, s.p. na sklonku 80. let, je Ing. Petr Seidl, CSc.